

ФОРМИРОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МАГИСТРАЛИ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЕ ПОРТЫ-СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ»

ОАО «Ленское объединенное речное пароходство»

С.А. Ларионов

THE FORMATION OF INTERNATIONAL TRANSPORT LINES «FAR EASTERN PORT-THE NORTHERN SEA ROUTE»
«Lena united river shipping»
S.A. Larionov

The characteristics of transport links between Europe and Asia-Pacific countries through the territory of Russia.

Keywords: transport corridors, intercontinental traffic flows

Дается характеристика транспортных связей между странами АТР и Европой через территорию России.

В последнее время активизировался интерес многих государств к развитию межгосударственных и трансконтинентальных связей. Этому, в том числе, способствовало новое геополитическое положение России, взятый ею курс на интеграцию в мировую экономику, повышению самостоятельности территорий и переход к рыночной экономике.

В настоящее время популярной становится стратегия «Россия – транспортный мост». Этому соответствует стремление усилить роль нашей страны в международных перевозках по маршруту «Европа-Россия-страны АТР».

Географическое положение России однозначно определяет прокладку по её территории наиболее экономичных транспортных коридоров соединяющих страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) с европейскими государствами. Основу этих коридоров на территории Сибири на современном этапе могут составлять Транссиб, Северный Морской путь (СМП) и внутренние водные пути Обь, Енисей и Лена при условии выполнения в процессе их модернизации необходимых требований, которые предъявляются к международным транспортным коридорам. Основные из них следующие:

- техническое оснащение транспортных коммуникаций современным оборудованием и необходимыми материалами, в первую очередь пути, перевозочных средств, перегрузочных комплексов;

- наличие на всем протяжении коридора соответствующего информационного и телекоммуникационного сопровождения грузов и пассажиров;

- организация страхового обеспечения.

Транссиб в настоящее время связан своим западным звеном с международными транспортными коридорами, которые имеют выход в страны Восточной и Западной Европы. В восточной части магистрали планируется продлить Транссиб до Южной Кореи путем восстановления Транскорейской железнодорожной магистрали. Таким образом, обеспечивается постоянная круглогодичная транспортная связь АТР с Европой через территорию России.

В порядке подготовки вхождения железнодорожной магистрали в состав международных транспортных коридоров в России проведены экспериментальные рейсы из портов Дальнего Востока до стран Северной и Восточной Европы. Пробный контрольный проезд в апреле 1998 года следующий по маршруту порт Восточный-Брест выполнил этот рейс за 8,5 суток, что в 4 раза быстрее перевозок контейнеров в Европу морем по южному направлению.

В настоящее время основными странами грузоотправителями в перевозках грузов по Транссибу являются: Япония, Корея, Китай, Гонконг. Основные грузополучатели: Финляндия, Норвегия, прибалтийские страны, Румыния, Чехия, Украина, Казахстан, Узбекистан, Афганистан.

Общее транспортное время доставки контейнеров из портов Японии в Западную Европу по коридору Транссибирской магистрали составляет 17 суток, из портов Кореи-16 суток, что меньше на 13-15 суток по сравнению с доставкой контейнеров морем [1].

В настоящее время Транссиб загружен на 50% своей мощности. Из 600 тыс. контейнеров, отправляемых ежегодно из стран АТР, только 50 тыс. проходят через Транссиб, хотя его технические возможности позволяют перевозить более 100 тыс. контейнеров в год. После соответствующей модернизации Транссиба (в течение

5 лет) дорога может пропускать до 1,5 млн. контейнеров в год. В этом случае возникает необходимость существенно сократить внутрироссийский грузопоток по ней, переведя его на другие магистрали (реки Сибири, Северный морской путь).

Большое значение для России имеет Северный морской путь (СМП). Экономические и политические соображения заставляют нашу страну и заинтересованные зарубежные страны северных районов Америки и Европы рассматривать СМП в качестве международного транспортного коридора круглогодичного действия. Помимо того что этот маршрут связывает российские Северо-Западные порты (Архангельск, Мурманск и другие) с Дальним Востоком, СМП является кратчайшим морским путем между странами Северной Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона, США (Аляска) и Канадой по сравнению с южной трассой через Индийский океан (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная оценка протяженности маршрутов

Наименование маршрута	Направление маршрута	Протяженность, морских миль	Сокращение пути, раз
1 Мурманск-Иокогами	Суэцкий канал СМП	12 840 5 767	2,23
2 Мурманск-Ванкувер	Суэцкий канал СМП	9 710 5 406	1,79
3 Роттердам-Иокогама	Суэцкий канал СМП	11 205 7 345	1,53
4 Роттердам-Ванкувер	Суэцкий канал СМП	8 917 6 985	1,3

Такое сокращение пути позволяет, даже с учетом затрат на ледовую проводку, не только уменьшить, но и заметно удешевить доставку российских товаров в Северную Европу, Америку и Азию.

В этой ситуации по новому оценивается роль внутреннего водного транспорта в хозяйственном развитии Сибири – речные пути становятся единственными транспортными связями между транспортными коридорами (Транссиб и СМП) в межрегиональном направлении через магистральные водные пути Обь-Иртышского, Енисейского и Ленского бассейнов. В Дальневосточном Федеральном округе в связи с этим можно говорить о связи Транссиба, БАМа с СМП через реку Лену, тем самым сформировать межгосударственный транспортный Арктический коридор «Дальневосточные порты – СМП» (рисунок 1).

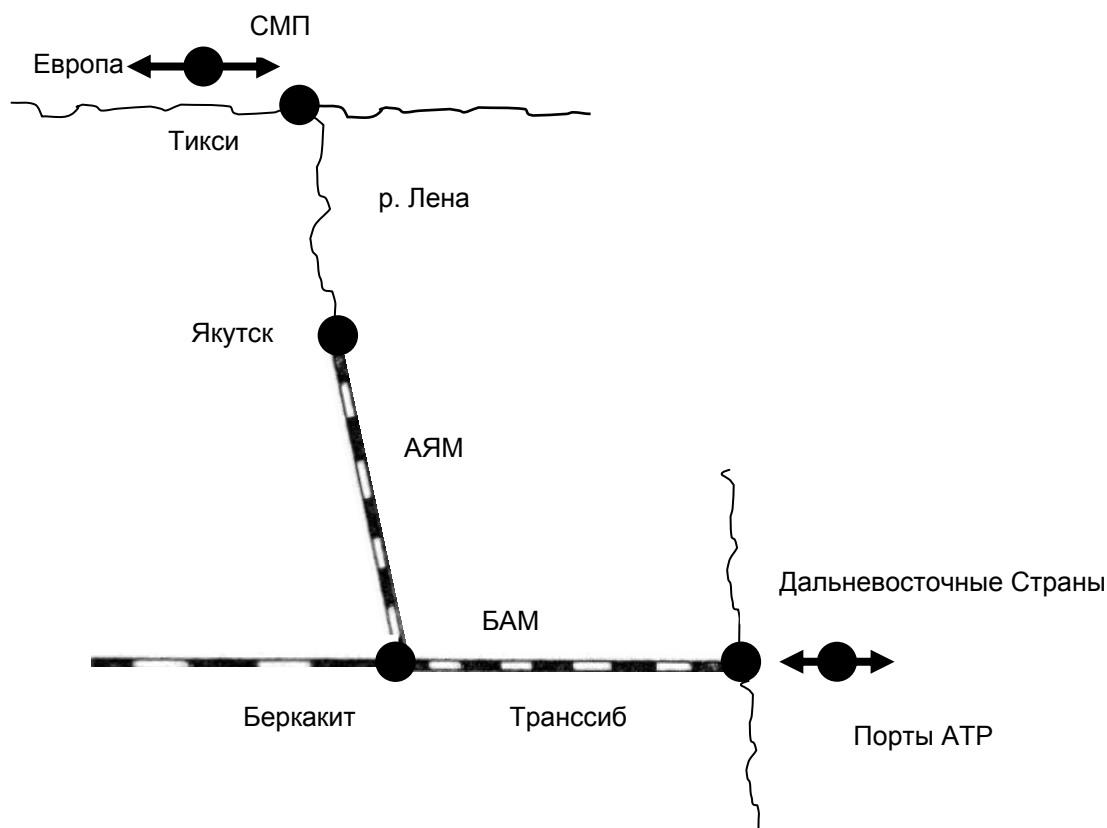


Рисунок 1 – Трасса межгосударственного транспортного коридора «Дальневосточные порты-СМП»

Встраивание системы «Дальневосточные порты-СМП» в Арктический транспортный коридор» и «Транссиб» предполагается по следующим направлениям.

1 Транзит (проследования) внешний. Дальневосточные порты обслуживают морские маршруты Россия-Япония, Россия-Южная Корея, Россия-Китай, Россия-Вьетнам, Россия-США, Россия-Австралия и другие. Система выполняет функции связующего звена между Дальневосточными портами и СМП. Транзитные грузы передаются от Дальневосточных портов на Транссиб и Байкало-Амурскую железнодорожную магистраль и следуют до станции Тында, Беркамит, далее по Амуро-Якутской магистрали через Беркамит-Томмот-Якутск с передачей груза в Якутском порту с железной дороги на суда Ленского объединенного речного пароходства, которые следуют до Тикси с последующей передачей груза на СМП.

2 Транзит на ввоз. Грузы поступают в Дальневосточный Федеральный округ для внутреннего потребления из стран АТР морем с СМП и по железной дороге. Согласно намеченным темпам социально-экономического развития Якутия к 2020-25 гг. объемы ввоза возрастут до 9-10 млн. т.

3 Транзит на вывоз. Грузы из Дальневосточного Федерального округа отправляются за его пределы через Дальневосточные порты, по железной дороге в восточном и западном направлении ИСМП, с участием речного транспорта.

Вывоз производимой на территории республики Саха (Якутия) продукции возрастает до 30-40 млн. т, основу которых составят 25-30 млн. т – уголь, 5-6 млн. т – нефть и нефтепродукты, до 4 млн. т – руды черных металлов, 2 млн. т – лесные грузы, апатиты и др. [2].

4 Транзит внутренний. Грузы, перевозимые на территории Дальневосточного Федерального округа, относятся к внутрирайонным перевозкам продукции, произведенной и потребляемой в пределах округа, не превышают в настоящее время 20-25%, что характерно для территорий, где преобладает сырьевая направленность промышленного производства. Основной грузопоток – нефть и нефтепродукты, каменный уголь, гравий, лесные и генеральные грузы.

Предполагается, что основной грузовой поток по вновь открытому Арктическому коридору «Дальневосточные порты – СМП» составят следующие грузы – нефть и нефтепродукты, каменный уголь, генеральные и строительные грузы, лес и продукция его переработки, руда и апатиты. При этом отмечается, что существенное место в этом грузопотоке занимает каменный уголь крупнейшего в России Эльгинского месторождения, расположенного в Южной Якутии в 415 км к востоку от города Нюрнгри и в 300 км от Байкало-Амурской магистрали. Балансовые запасы угля составляют 2,7 млрд. т, прогнозные – 30 млрд. т. Оно является стратегически важным для промышленного развития всего Дальневосточного региона и экспортного потенциала России. Эльгинское месторождение каменного угля рассматривается как сырьевая база коксующихся углей дефицитных марок. Весь объем запасов коксующегося угля на месторождении полностью пригоден для конкурентоспособной обработки открытым способом. Ежегодно планируется добывать на месторождении 30 млн. т угля и вывозить продукцию по строящейся железной дороге.

Строительство 320-километровой железнодорожной ветки от БАМ (станция Улаг) до Эльгинского месторождения – это один из первых в России крупномасштабных проектов, который реализуется на средства частного инвестора. Строительство дороги планируется завершить к концу 2011 года. По состоянию на 1 января 2011 года на подъездной железной дороге уложено 124 км пути, подготовлено под укладку более 120 км. На месторождении произведены вскрышные работы, добыт первый уголь, но в связи с высокой стоимостью транспортировки автомобильным транспортом, перевозка отложена.

К Эльгинскому месторождению проявили интерес не только Российские, но и целый ряд зарубежных компаний. В том числе Япония, Южная Корея, Китай, США, ЮАР, Бразилия, Страны Европы и Северной Африки.

Планируется поставлять уголь в Юго-Восточную Азию через порт Посьет, который в настоящее время модернизируется с учетом перевалки эльгинских углей. Одновременно проектируется новый порт Ванино.

Предполагается, что со временем нерюнгринский уголь будет в большей степени переориентирован на внутренний рынок, а эльгинский пойдет на экспорт, в том числе через международный транспортный коридор: страны АТР-Транссиб-БАМ-АЯМ-Лена-СМП-Европейские страны.

Вновь создаваемый международный транспортный коридор АТР-Европа в настоящее время самый короткий путь с востока на запад на Евразийском континенте. Он исключает

пробег морских судов от порта Тикси через Берингов пролив, Охотское море до дальневосточных портов и обратно, за исключением отдельного участка СМП Тикси-США (Аляска).

Поставленные в статье вопросы в полной мере согласуются с «Транспортной стратегией республики Саха (Якутия)» принятой Правительством республики Саха (Якутия) в соответствии с постановлением от 31 мая 2004 года №258, которое предписывает министерствам и ведомствам, руководителям предприятий и организаций руководствоваться транспортной стратегией Республики Саха (Якутия) до 2025 года. В документе, в частности, предусматривается среди мер стратегического характера реализовать следующие позиции – «реализация транзитного потенциала Северного морского пути», который в перспективе «...может стать самостоятельным евроазиатским коридором, связывающим страны ЕС и АТР». При этом встраивание в систему железнодорожного (Транссиб, БАМ и АЯМ) и речного (реки Северо-Восточного бассейна: Лена с притоками) транспорта значительно расширяет возможности СМП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Комаров, К.Л. К вопросу о концепции развития транспорта Российской Федерации / К.Л. Комаров, Е.Б. Кибалов, С.А. Максимов // Транспортная стратегия России: материалы науч.-практ. конф. -Новосибирск, 2003. -С. 85-156.
2 Членов, В.М. Стратегия развития транспортного комплекса республики Саха (Якутия) / В.М. Членов //Транспортная стратегия России: материалы науч.-практ. конф. -Новосибирск, 2003. -С. 173-179.
3 Долженко, Ю.В. Стратегия решения транспортных проблем экономики и жизнеобеспечения в бассейнах арктических рек Якутии / Ю.В. Долженко // Реч. трансп. (XXI в). -2004. -№3. -С. 32-35.

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

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ЛЁТНЫХ ТРЕНАЖЁРОВ ВЕРТОЛЁТОВ ПО ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

ЗАО «Научно-производственное объединение «СПАРК»

П.Н. Рыбкин

OPTIMUM DISTRIBUTION OF COMPLEX HELICOPTER FLIGHT SIMULATORS OVER SIBERIA AND THE FAR EAST

Scientific and production association «SPARC»

P.N. Rybkin

The article offers effective methods in helicopter simulators distribution for training flight crews of Siberian and Far Eastern air companies, considering the large geographical areas of the regions. The procedure is based on two levels of optimization using the optimization method – Monte Carlo method with restrictions

Keywords: helicopter simulator, aviation training centre

Предложена методика оптимального размещения тренажёров вертолетов для подготовки летного состава авиакомпаний Сибири и Дальнего Востока, учитывая большие географические расстояния между их расположением. Методика базируется на двух уровнях оптимизации с использованием метода оптимизации – метод Монте-Карло с ограничениями.

Сегодня трудно представить жизнь и дальнейшее развитие районов Севера и Дальнего Востока без использования вертолётов. Вертолёты перевозят пассажиров и грузы и выполняют, так называемые, авиационные работы. Это – санитарные полёты, патрулирование лесов и пожаротушение, обслуживание нефте- и газодобывающих платформ и многое, многое другое [1]. В соответствии с нормативными документами [2] пилоты вертолётов должны раз в полгода проходить тренировки на комплексных лётных тренажёрах с современной системой визуализации. Затраты, связанные с поездками на тренажёры, в конечном счёте ложатся на себестоимость товаров и услуг, в производственной цепочке которых использовались вертолёты. В снижении этих затрат заинтересовано всё общество.

Количество и месторасположение авиационных учебных центров (АУЦ) с комплексными тренажёрами вертолётов (КТВ) влияет на две составляющие затрат: на транспортные расходы и на оплату тренировочных полётов на КТВ. Чем ближе и (или) удобней в транспортном отношении расположен АУЦ к экипажам авиакомпании (АК), тем меньше расходы, связанные с поездкой (полётами) экипажей в АУЦ. Приблизить АУЦ к АК можно за счёт увеличения АУЦ. Но, при этом, возрастут затраты на оплату тренировочных полётов на КТВ. Дело в том, что каждый КТВ должен приносить запланированный при его создании годовой доход,

не зависимо от его загрузки. Наилучший вариант – это такое количество КТВ и такое их размещение, при которых будет минимальной сумма транспортных расходов и расходов на оплату тренировочных полётов на КТВ. Это верхний (наружный) уровень оптимизации. Но внутри каждого рассматриваемого варианта существует нижний (внутренний) уровень оптимизации – нахождение оптимального распределения экипажей авиакомпаний между АУЦ.

Постановка оптимизационной задачи. Ниже рассматривается постановка этой оптимизационной задачи. Графическая интерпретация постановки применительно к четырём АК и двум АУЦ приведена на рисунке 1.

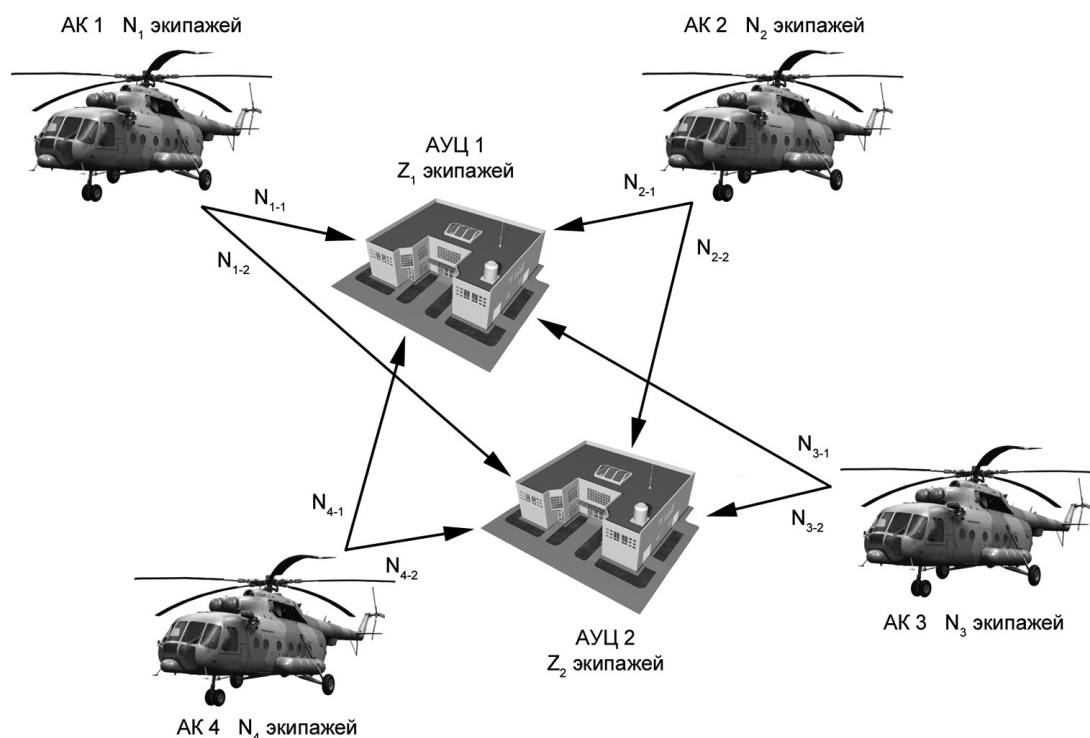


Рисунок 1 – К постановке оптимизационной задачи

Постановка задачи. Имеется p авиакомпаний с количеством экипажей N_1, N_2, \dots, N_p . Найти количество АУЦ (КТВ) и их расположение, обеспечивающие минимум затрат на транспорт и оплату КТВ.

Исходные данные:

Z_{\max} – пропускная годовая способность АУЦ (КТВ);

V – годовая плата за КТВ при любой его занятости.

Дополнительные условия. Количество экипажей в авиакомпаниях N_1, N_2, \dots, N_p меньше пропускной способности КТВ. В больших авиакомпаниях, в которых количество экипажей больше пропускной способности КТВ, однозначно надо устанавливать КТВ на территории АК. Количество экипажей, превышающее возможности установленного на территории АК КТВ, должно распределяться между другими КТВ.

Переменные. Переменные снабжаются нижними индексами i и j . Индекс i соотносит переменную с АК с номером i . Индекс j соотносит переменную с АУЦ (КТВ) с номером j .

N_{i-j} – количество экипажей АК с номером i , проходящих тренировки в АУЦ с номером j ;

T_{i-j} – транспортные расходы экипажа АК с номером i , проходящего тренировки в АУЦ с номером j .

Система уравнений

$$\begin{cases} Z_j = \sum_{i=1}^p N_{i-j} \\ N_i = \sum_{j=1}^m N_{i-j} \end{cases}, \text{ для } j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, p; Z_j \leq Z_{\max}.$$

Целевая функция. Суммарные затраты на транспорт и оплату КТВ

$$T_{\Sigma} = Bm + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p T_{i-j} N_{i-j}.$$

Система из $(m + p)$ уравнений не является замкнутой, так как содержит $(m + mp)$ неизвестных. Для замыкания системы часть неизвестных должна быть заранее задана.

Количество задаваемых величин определяется разностью

$$(m + mp) - (m + p) = p(m - 1).$$

Именно на поле задаваемых заранее величин (неизвестных) находится наименьшее значение целевой функции.

Процедура поиска оптимального решения сводится к следующему.

Первый шаг – выбор количества АУЦ и их месторасположения. Диапазон для выбора количества АУЦ m определяется пределами:

$$m_{\min} = 1 + \text{int} \left(\sum_{i=1}^p \frac{N_i}{Z_{\max}} \right) \text{ и } m_{\max} = p.$$

Левый предел соответствует максимальной загрузке КТВ, правый – наличию КТВ в каждой АК. Месторасположение КТВ назначается из логических соображений, ориентируясь на города, уже имеющиеся АУЦ и т.д. Кроме того, следует учитывать удобство транспортного сообщения между КТВ и АК. Для одного и того же количества КТВ может быть выбрано несколько вариантов их местоположения.

При выбранном варианте – количество КТВ и их местоположение – определяются затраты на перемещение (самолёт, поезд, и др.) экипажа между каждой АК и каждым АУЦ: T_{i-j} – транспортные расходы экипажа АК с номером i , проходящим тренировки в АУЦ с номером j .

Второй шаг – выбор композиции из $p(m - 1)$ параметров (неизвестных). В качестве таких параметров удобно использовать относительное распределение экипажей АК между АУЦ, введя параметр

$$\bar{N}_{i-j} = \frac{N_{i-j}}{N_i}.$$

В выбираемую композицию должны войти относительные параметры \bar{N}_{i-j} , характеризующие распределение экипажей каждой АК между всеми АУЦ за исключением одного. Между включенными в композицию \bar{N}_{i-j} должны соблюдаться неравенства:

$$\sum_j \bar{N}_{i-j} \leq 1,$$

для всех i и для j тех АУЦ, для которых распределены экипажи АК с номером i .

Для выбранной композиции путём решения уравнений (1) в преобразованном виде

$$\bar{N}_{i-j} = 1 - \sum_j \bar{N}_{i-j}.$$

В этих уравнения для каждой АК (все i от 1 до p) параметр j слева от знака равенства соответствует тому АУЦ, в отношении которого для АК с номером i предположений не принималось. Справа от знака равенства в сумму включаются номера j тех АУЦ, для которых для АК с номером i заранее были сделаны предположения и включены в композицию.

После определения всех \bar{N}_{i-j} следует проверить, не превышена ли пропускная способность какого-либо КТФ, с помощью неравенств:

$$\sum_{i=1}^p \bar{N}_{i-j} N_i \leq Z_{\max},$$

для всех j (от 1 до m).

Нарушение одного из неравенств означает, что выбранная композиция нереальна. Следует повторить выбор композиции.

Третий шаг – подсчёт целевой функции – суммарных затрат на транспорт и аренду КТВ

$$T_{\Sigma} = Bm + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p T_{i-j} N_{i-j}.$$

Далее следует сформировать новую композицию и выполнить вышеприведённые расчёты.

Четвёртый шаг – выбор из просчитанных композиций ту, при которой целевая функция окажется меньшей.

Задача по выбору оптимального размещения АУЦ относится к классу минимаксных задач применительно к многопараметрической целевой функции [3].

Для двух АУЦ (КТВ) целевая функция T_{Σ} зависит от 4-х параметров. Для трех АУЦ целевая функция зависит от 8-ми параметров и т.д.

Для решения этой задачи подходящим методом является метод Монте-Карло [4].

Алгоритм решения нашей задачи методом Монте-Карло выглядит следующим образом:

1 Из логических соображений выбирается вариант – количество АУЦ (КТВ) и их месторасположение. Используя сведения о цене билетов (авиа, ж.д. и др.) между авиакомпаниями и АУЦ, подсчитываются затраты на перелёт (переезд) одного экипажа от местоположения АК в АУЦ и обратно.

2 Для каждой i -той АК (от $i = 1$ до $i = p$), используя процедуру случайных чисел, находится $(m - 1)$ относительных распределений экипажей этой авиакомпании по тренажёрам:

$\bar{N}_{i-1}, \bar{N}_{i-2}, \dots, \bar{N}_{i-(m-1)}$ при соблюдении неравенства $\sum_{j=1}^{m-1} \bar{N}_{i-j} \leq 1$. В результате формируется композиция из $p(m - 1)$ независимых переменных.

3 По формулам $\bar{N}_{i-j} = 1 - \sum_j \bar{N}_{i-j}$ подсчитываются недостающие p значения \bar{N}_{i-j} относительных распределений экипажей.

4 Для каждого АУЦ определяется его загрузка $Z_j = \sum_{i=1}^p \bar{N}_{i-j} N_i$. Если какое-либо $Z_j \geq Z_{\max}$,

процедура возвращается на п. 2 и формируется новая композиция из $p(m - 1)$ независимых переменных.

5 Подсчитывается значение целевой функции

$$T_{\Sigma} = Bm + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^p T_{i-j} N_{i-j}.$$

6 Расчёты по п. 2-5 повторяются заново в цикле вплоть до наступления условия прекращения цикла.

К сожалению, априори определить количество циклов, обеспечивающее нахождение оптимального распределения экипажей между АУЦ, не представляется возможным. Приходится ориентироваться на алгоритмы прекращения цикла, исходя из логики вычислительных процедур.

1 Целью цикла является нахождение трех композиций с меньшими по сравнению с остальными композициями значениями целевой функции. Для дальнейшего 1-ой композицией будем называть композицию с меньшим значением целевой функции из трёх отобранных. 3-ей композицией будем называть композицию с большим значением целевой функции из трёх отобранных. И, наконец, 2-ой композицией – композицией со средним значением целевой функции.

2 Цикл прерывается, когда в течение K циклов интервал между значениями 1-ой и 3-ей композиций не меняется.

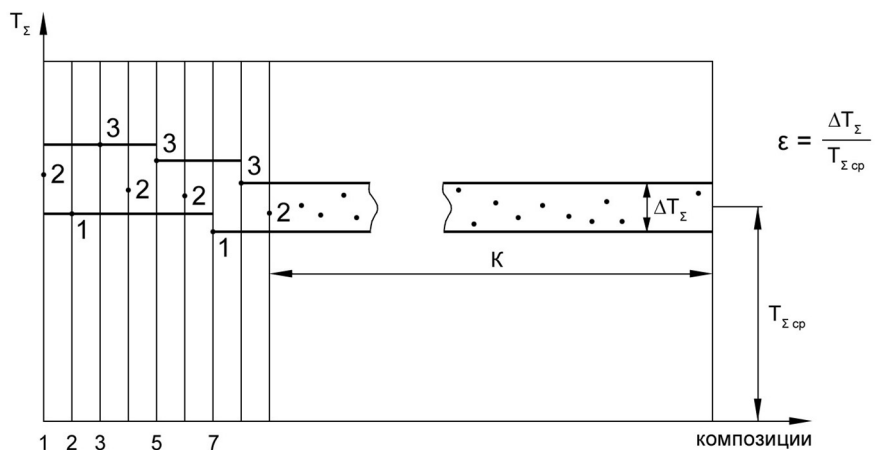


Рисунок 2 – Пояснения к выходу из цикла

3 Дополнительно может быть задано условие получения заданной относительной величины диапазона

$$\frac{T_{\Sigma 3} - T_{\Sigma 1}}{0,5(T_{\Sigma 1} + T_{\Sigma 3})} \leq \varepsilon.$$

Графическая иллюстрация этих условий приведена на рисунке 2.

После завершения расчётов для принятого варианта размещения АУЦ выполняются расчёты для других выбранных вариантов размещения этого количества АУЦ.

Аналогично выполняются расчёты для тех же АК и другого количества АУЦ.

Окончательный выбор количества АУЦ и их размещения определяет лицо, принимающее решение в результате анализа всех полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Федеральные авиационные правила. Подготовка и выполнение полётов в гражданской авиации Российской Федерации. -М., 2009.

2 Типовые программы дополнительного профессионального образования и курсов повышения квалификации персонала ГА РФ. -М.: РОСАВИАЦИЯ, 2010.

3 Демьянов, В.Ф. Введение в минимакс / В.Ф. Демьянов, В.Н. Малозёмов. -М.: Наука, 1972. -368 с.

4 Соболев, И.М. Метод Монте-Карло / И.М. Соболев. -М.: Наука, 1968. -64 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тренажер вертолета, авиационный учебный центр*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Рыбкин Павел Николаевич, канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО «НПО «СПАРК»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 12, ЗАО «НПО «СПАРК»*

МЕТОДИКА ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический
университет им. акад. М.Ф. Решетнева»**

Н.В. Бахмарева

METHODS OF PROCESS-ORIENTED REPRODUCTIVE MANAGEMENT OF FIXED ASSETS THE ENTERPRISE SPACE INDUSTRY

**«Siberian state aerospace university named after acad. M.F. Reshetnev»
N.V. Bahmareva**

It is proposed an original technique for process-oriented reproductive management of BPA, which includes a set of standard tools, with which you can efficiently organize, process-oriented controlreproduction of BPA in the enterprises of the rocket and space industry.

Keywords: fixed assets, rocket and space industry, process-oriented management, replication

Предложена оригинальная методика процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ, включающая в себя комплекс типовых инструментов, с помощью которых можно эффективно организовать процессно-ориентированное управление воспроизводством ОПФ на предприятии ракетно-промышленного комплекса.

Ракетно-космическая промышленность (РКП) является одной из ведущих отраслей оборонно-промышленного комплекса и промышленности России в целом. На сегодняшний день данная отрасль выступает как наиболее высокотехнологичная и инновационная сфера отечественной экономики, обеспечивающая России поддержание ее оборонной и экономической безопасности. Ракетно-космическая промышленность исторически создавалась как единая база для разработки, создания и производства ракетно-космической техники оборонного и гражданского назначения.

В настоящее время ракетно-космическая промышленность России переживает общие для всех отраслей оборонно-промышленного комплекса проблемы: неудовлетворительное состояние воспроизводства основных фондов, ослабление кадрового потенциала, устаревшие подходы к управлению, увеличение стоимости выпускаемой продукции, падение ее рентабельности и как следствие ухудшение общего финансового состояния. В ракетно-космической промышленности особое значение имеют проблемы связанные с состоянием воспроизводства основных производственных фондов (ОПФ), высокий моральный и физический износ которых достиг критического уровня. Одной из главных причин, сдерживающих рост эффективности воспроизводства ОПФ, по мнению многих экспертов, являются уста-

ревшие подходы к управлению воспроизводством ОПФ не отвечающие современным требованиям инновационного развития предприятий РКП.

Новые возможности для развития системы управления воспроизводством ОПФ предприятий РКП открывает процессный подход к управлению организацией. Большинство специалистов сходятся во мнении, что переход от функционального управления к процессному требует применения комплекса специальных инструментов, которые позволяют построить прозрачную для руководства систему управления, способную гибко реагировать на изменения внешней среды; постоянно повышать эффективность и результативность воспроизводства ОПФ; обеспечить максимальный учет интересов потребителей ОПФ; реализовать в организации системный подход к управлению воспроизводством ОПФ в соответствии с требованиями ИСО 9001 [1].

Изучение теоретических основ процессно-ориентированного управления позволило определить следующий комплекс инструментов, подлежащий обязательному использованию на всех этапах при описании процессного подхода: схему цепочек создания ценности (ЦСЦ); систему бизнес процессов (СБП); матрицу распределения административных задач управления (РАЗУ); систему показателей управления (СПУ) [2]. Анализ представленных инструментов позволил сделать вывод, что данные инструменты не могут быть применимы без дополнительной переработки для построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ предприятий РКП, так как они отражают лишь общие приемы и способы действий, не учитывают особенностей процесса воспроизводства ОПФ предприятий РКП и требований к управлению данной сферой деятельности. Решение этих вопросов позволило автору сформировать оригинальные принципы построения инструментов процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ, учитывающие особенности предприятий РКП – обязательное наличие мобилизационных мощностей и вспомогательных бизнес-процессов [3]. Далее нами был создан комплекс инструментов, позволяющий осуществить переход от функционального управления к процессно-ориентированному [4], и разработана новая методика, дающая возможность провести намечающиеся преобразовательные процессы в организации. Разработанные инструменты процессно-ориентированного управления являются готовыми типовыми шаблонами, главное назначение которых – обеспечение методического единства их применения при построении процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ.

Таким образом, реализация разработанных методических положений будет способствовать активации внедрения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на предприятиях РКП, что, в свою очередь, позволит им постоянно развивать и совершенствовать бизнес-процессы воспроизводства ОПФ, тем самым, повышать эффективность своей деятельности. Блок-схема методики построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на предприятиях РКП на основе разработанного комплекса инструментов, представлена на рисунке.

На первом этапе – подготовительном – проводится формирование рабочей группы и обучение руководства и персонала организации основам процессного подхода. Рабочая группа формируется из компетентных специалистов подразделений участвующих в управлении основными фондами. Результат данного этапа – план построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на предприятии.

Второй этап – разработка схем цепочек создания ценности (ЦСЦ) воспроизводства ОПФ. Основная задача разработки схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ заключается, в первую очередь, в общем представлении процесса воспроизводства ОПФ с высокой степенью агрегации для определения границ бизнес-процессов и представления основных системообразующих связей. В помощь рабочей группе предлагается разработанный методический инструмент позволяющий облегчить построение схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ. Данный методический инструмент состоит из двух частей (схем ЦСЦ воспроизводства первого и второго уровня). Далее проводится оценка возможности применения типовых схем без их корректировки.

Если схемы ЦСЦ не подходят для данного предприятия в предлагаемом виде их корректируют с учетом его особенностей.

Третий этап – построение системы бизнес-процессов (СБП) воспроизводства ОПФ. После разработки схем ЦСЦ первых двух уровней управления процессом воспроизводства ОПФ начинается построение системы бизнес-процессов воспроизводства ОПФ. Для этого сначала проводится выбор метода формирования системы бизнес-процессов. Метод «сег-

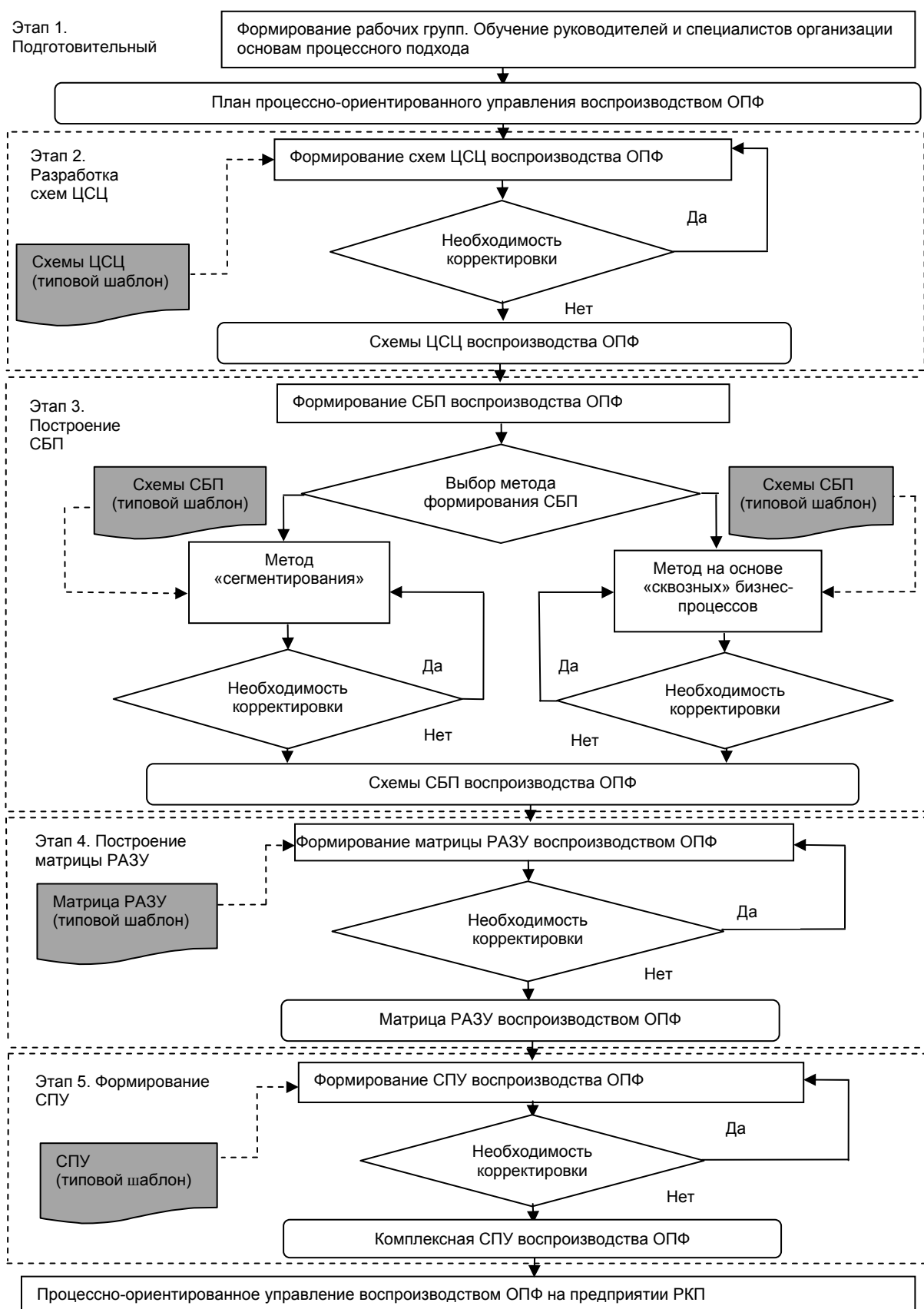


Рисунок – Блок-схема методики процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на предприятиях РКП

ментирования» не предполагает коренных перестроек на предприятии. Сначала выделяются, классифицируются и описываются бизнес-процессы в рамках существующей структуры управления. После этого постепенно осуществляется переход к процессной структуре управления. Метод на основе «сквозных» бизнес-процессов предполагает проведения опи-

сания последовательности выполняемых работ, без закрепления за подразделениями предприятия. Затем формализованные «сквозные» бизнес-процессы вписываются в новую организационную структуру, построенную на процессном подходе к управлению. Далее проводится оценка возможности применения типовой системы бизнес-процессов воспроизводства ОПФ без ее корректировки. Если инструмент не подходит для данного предприятия в предлагаемом виде проводят его корректировку. Результатом данного этапа является построенная система бизнес-процессов воспроизводства ОПФ предприятия.

Четвертый этап – построение матрицы РАЗУ. Цель данной работы – представить полную совокупность задач управления воспроизводством ОПФ и на этой основе разработать организационное обеспечение сферы воспроизводства ОПФ, позволяющее провести комплексную координацию деятельности, распределить обязанности и закрепить ответственность за соответствующими структурными подразделениями предприятия РКП, а также установить ответственность за достижение целей управления и обеспечить их комплексную реализацию. Далее производится оценка необходимости корректировки. Результатом данного этапа является построенная матрица РАЗУ воспроизводством ОПФ предприятия.

Пятый этап – формирование комплексной системы показателей управления процессом воспроизводства ОПФ. Для формирования данного инструмента на предприятии рабочая группа принимает за основу предложенную систему показателей управления воспроизводством ОПФ. Далее проводится оценка возможности использования типовой системы показателей управления воспроизводством ОПФ без ее корректировки. Если система показателей учитывает особенности управления данной сферы, то инструмент считается сформированным.

После разработки инструментов осуществляется их внедрение для проведения изменений в управлении данным процессом и начинается работа по разработке и введению в действие регламентов подразделений и бизнес-процессов.

Для апробации предложенной методики процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ было взято предприятие, занимающее одно из ведущих мест в отрасли производства ракетно-космической техники – ОАО «Красмаш». На основе предложенных инструментов были разработаны схемы ЦСЦ по стадиям жизненного цикла, стадиям кругооборота и формам воспроизводства ОПФ, что позволило расширить представление о фактических масштабах и содержании движения основных фондов, а также выявить связи между стадиями жизненного цикла, этапами кругооборота ОПФ и проблемы, возникающие в процессе управления воспроизводством ОПФ на стратегическом уровне. Далее, следуя алгоритму методики, на основе метода «сегментирования» была построена СБП воспроизводства ОПФ на предприятии, базирующаяся на схемах ЦСЦ, что позволило детализировать бизнес-процессы, установить последовательность их выполнения и определить структурные подразделения, отвечающие за эффективность их реализации. В результате сравнения существующей матрицы ответственности с предложенной матрицей РАЗУ было выявлено, что из 360 необходимых функций управления воспроизводством ОПФ на предприятии реально выполняется 229, что снижает уровень организационного обеспечения необходимых задач управления на 40%. При этом было установлено дублирование функций управления на стадиях привлечения и использования. Предложенная система показателей оценки эффективности и результативности бизнес-процессов воспроизводством ОПФ была принята рабочей группой для ее адаптации.

Таким образом, применение предложенных инструментов позволяет осуществить переход от функционального управления к процессно-ориентированному, создать интегрированную структуру управления воспроизводством ОПФ и обеспечить инновационное развитие этого процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Репин, В.В. Бизнес-процессы компании: построение, анализ, регламентация / В.В. Репин. -М.: Стандарты и качество, 2007.

2 Бахмарева, Н.В. Теоретические основы процессной модели управления воспроизводством основных производственных фондов машиностроительных предприятий с учетом их особенностей / Н.В. Бахмарева // Человеческие ресурсы и управление бизнес-процессами в современных социально-экономических системах: тенденции, проблемы и перспективы: сб. науч. тр. Всеросс. науч.-практ. конф. / Центр приклад. науч. исслед. -М., 2010. -С. 124-135.

3 Бойко, А.А. Принципы проектирования инструментов процессно-ориентированного управления воспроизводством основных производственных фондов предприятия / А.А. Бойко, Н.В. Бахмарева // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 17-20.

4 Бахмарева, Н.В. Инструменты процессно-ориентированного управления воспроизводством основных фондов предприятий ракетно-космической промышленности / А.А. Бойко, Н.В. Бахмарева // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: основные фонды, ракетно-космическая промышленность, процессно-ориентированное управление, воспроизводство
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бахмарева Наталья Владимировна ст. преподаватель ФГБОУ ВПО «СибГАУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 660014, г. Красноярск, пр. имени газеты «Красноярский рабочий», 31, ФГБОУ ВПО «СибГАУ»

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ ПИЛОТОВ ВЕРТОЛЁТОВ

ЗАО «Научно-производственное объединение «СПАРК»

П.Н. Рыбкин

PROFESSIONAL KNOWLEDGE TESTING FOR HELICOPTER PILOTS
Scientific and production association «SPARC»
P.N. Rybkin

The Article proposes methods of computer-aided pilot knowledge testing, to take into account the importance ranking of test tasks and the ratio of time spent on completion of each task to statistically defined optimum time.

Keywords: computer-based training, professional knowledge testing, importance ranking of test tasks, task completion time tracking

Предложена методика компьютерного тестирования профессиональных знаний пилотов, учитывающая ранжирование по важности тестовых заданий и отношение времени, затраченного на решение каждого задания, к статистически определённом оптимальному времени.

Различным аспектам компьютерного тестирования обучаемых посвящено много публикаций [5, 7]. Однако среди них нет практически работ, посвящённых тестированию специалистов, получающих профессиональную подготовку, таких как пилоты вертолётчиков. Рекомендации, изложенные в опубликованных источниках [3, 6] и относящиеся к средней школе и к вузам, требуют корректировки.

При оценке результатов профессиональной подготовки пилотов вертолётчиков дифференциация слушателей также должна быть, но не она является главной. Объём и содержание учебного материала, которые должны быть усвоены слушателем и при переучивании и при повышении квалификации, определены руководящими документами – Руководством по лётной эксплуатации вертолёта и программами курсов повышения квалификации, утверждёнными государственными органами.

Цель тестирования – определить степень соответствия полученных слушателем при обучении знаний объёму знаний, определённом руководящими документами. В гражданской авиации в соответствующих документах используется пятибалльная система оценок. Причём, к лётной работе допускаются пилоты, получившие оценки отлично или хорошо. Оценка удовлетворительно считается недопустимой. Практически критериально-ориентированный тест должен надёжно дифференцировать слушателей на границе хорошо-удовлетворительно. Граница отлично-хорошо носит престижный характер.

Недостатком закрытых заданий, которые использованы в профессиональных тестах пилотов, считается возможность случайного угадывания правильного ответа. В ряде источников приведены формулы коррекции результатов тестирования на угадывание [4, 7]. К сожалению, использовать эти формулы при тестировании пилотов вертолётчиков не удастся, так как они применимы только для однородных тестовых заданий с одинаковым количеством предлагаемых ответов, обычно от трех до пяти, и одним правильным ответом. Тестовые задания, составленные для контроля профессиональных знаний и умений пилотов вертолётчиков, однородными по этому признаку не являются. Главным при составлении тестовых заданий – полный охват контролируемого массива знаний. Поэтому задания разнообразны и имеют разное количество предлагаемых и правильных ответов и разную вероятность получения правильного(-ых) ответа(-ов) угадыванием. Вероятность угадывания есть отношение количества правильных ответов к количеству предлагаемых ответов [5].

Важным и обязательным условием любого тестового задания – однозначное понимание смысла вопроса и количества правильных ответов. Определение вероятности угадывания для каждого задания индивидуально с использованием основных положений теории вероятностей.

В описанных системах тестирования [2, 4] индивидуальный балл испытуемого опреде-

ляют по следующей формуле:

$$\tilde{X} = X - \psi \Delta X,$$

где \tilde{X} – индивидуальный балл слушателя;
 X – балл, набранный слушателем при тестировании (M заданий);
 ΔX – балл, который слушатель мог набрать угадыванием;
 ψ – коэффициент, учитывающий подготовку слушателя к тестированию.

Хорошо подготовленный слушатель знает правильный ответ и справляется с заданиями без угадывания. Плохо подготовленному слушателю приходится прибегать к угадыванию правильного ответа. Своеобразной мерой подготовленности слушателя является доля правильных ответов при тестировании X/M .

В работах [1, 4] предлагается следующий принцип зависимости коэффициента ψ от степени подготовленности слушателя. Считается, что слушатели, справившиеся со всеми заданиями, не прибегали к угадыванию ответов, набранный ими балл корректировке не подлежит ($\psi = 0$). Далее считается, что слушатели, набравшие при тестировании балл, равный баллу, который может быть угадан (для нашего примера 2,68), набрали его именно угадыванием. Индивидуальный балл таких слушателей считается равным 0, то есть $\psi = 1$. Зависимость между коэффициентом ψ и долей правильных ответов X/M принимается линейной.

Экипаж вертолёт является важнейшим и последним звеном в цепочке обеспечения безопасности полётов. Среди объёма знаний, которым пилот должен владеть, есть знания, непосредственно влияющие на безопасность полётов. Эти знания пилот должен знать наизусть. По этой причине по тестовым заданиям, с помощью которых проверяются знания, непосредственно влияющие на безопасность полётов, всегда должны даваться слушателем правильные ответы. Выделение тестовых заданий, непосредственно влияющих на безопасность полётов, из банка тестовых заданий дисциплины выполняет группа экспертов. Выбор и оценка экспертов и результатов их работы производятся стандартными методами статистического оценивания величин.

Другим принципиальным моментом при организации контроля знаний пилотов вертолёт является контроль с ограничением времени на выполнение тестового задания. Дело в том, что пилоту вертолёт осуществлять свою профессиональную деятельность, в том числе вспоминать необходимые для конкретного момента времени сведения и принимать решение о действиях, приходится в условиях ограничения времени, иногда в условиях дефицита времени, а иногда в условиях сильнейшего дефицита. Поэтому время, затрачиваемое на выполнение тестовых заданий, является своеобразной профессиональной характеристикой пилота, а контроль с ограничением времени своеобразным тренажём профессиональных качеств.

Однако контроль выполнения задания с ограничением времени будет полезным, если временное ограничение будет соответствовать физиологическим возможностям пилота, а эти возможности индивидуальны. В то же время для специалистов-операторов, какими, по сути, являются пилоты, индивидуальные возможности не должны выходить за установленные пределы.

Для установления связи между структурой и сложностью тестового задания и временем, отводимым на его выполнение, представим это время $\Delta t_{зад}$, как сумму трёх временных отрезков

$$\Delta t_{зад} = \Delta t_{воспр} + \Delta t_{реш} + \Delta t_{ввод},$$

где $\Delta t_{воспр}$ – время, необходимое для восприятия задания (прочтение вопроса, прочтение предлагаемых ответов, просмотр графического материала);
 $\Delta t_{реш}$ – время, необходимое для осмысления задания и выбора правильного решения;
 $\Delta t_{ввод}$ – время, необходимое для «сообщения» ПК о выбранном ответе (наведение курсора на требуемое место на экране, «кликание» кнопкой мыши).

Время $\Delta t_{воспр}$ зависит от длины вопроса и предлагаемых ответов и скорости чтения их слушателем, а также от содержания (сложности) графической информации и скорости её восприятия слушателем. В общем, время $\Delta t_{воспр}$ индивидуально для каждого тестового задания и для каждого слушателя. Время $\Delta t_{реш}$ зависит от скорости мыслительных процессов

слушателя и его подготовленности к выполнению данного тестового задания. Время $\Delta t_{\text{ввод}}$ определяется количеством информации, которую необходимо «сообщить» ПК о принятом решении, и действиями, которые для этого необходимо совершить.

Из анализа видно, что время выполнения конкретного тестового задания и его составляющие определяются психо-физиологическими качествами слушателей, которые, как большинство всех других качеств человека, распределены по нормальному закону. Это позволяет принять гипотезу нормального распределения $\Delta t_{\text{зад}}$ и его составляющих $\Delta t_{\text{воспр}}$, $\Delta t_{\text{реш}}$, $\Delta t_{\text{ввод}}$.

Для проверки гипотезы и определения количественных характеристик зависимостей $\Delta t_{\text{зад}}$, $\Delta t_{\text{воспр}}$, $\Delta t_{\text{реш}}$, $\Delta t_{\text{ввод}}$ был проведён следующий эксперимент. Был подобран набор тестовых заданий, отличающихся сложностью графического материала, длиной вопроса, количеством предлагаемых ответов, количеством правильных ответов. На данном наборе была протестирована группа слушателей без ограничения времени. Слушатели, успешно прошедшие тест, еще дважды тестировались с интервалом в несколько дней. При тестировании слушатели отмечали окончание чтения тестов и восприятия графической информации, а также момент принятия того решения, которое они считали правильным, и момент окончания теста. В результате была получены выборки для $\Delta t_{\text{зад}}$, $\Delta t_{\text{воспр}}$, $\Delta t_{\text{реш}}$, $\Delta t_{\text{ввод}}$, по которым проверялась гипотеза и находились известными методами параметры распределений: среднее значение величины и отклонение. Полученные в результате анализа выборки $\Delta t_{\text{зад}}$ - среднее значение времени, затраченного на решение данного тестового задания $\bar{\Delta t}_{\text{зад}}$, и его отклонение σ – заносились в «паспорт» данного задания и использовались для последующей корректировки оценки слушателей.

Выборки временных интервалов $\Delta t_{\text{воспр}}$, $\Delta t_{\text{реш}}$, $\Delta t_{\text{ввод}}$ предназначены для априорной оценки $\Delta t_{\text{зад}}$ для заданий на стадии их разработки.

Предлагаемая ниже методика учёта времени, затраченного на выполнение задания, и соответствующей корректировки балла слушателя явилась результатом рассмотрения нескольких вариантов методик группой экспертов профессионалов. В группу входили преподаватели, пилоты-инструкторы и командиры лётных подразделений. Суть предлагаемой методики иллюстрируется с помощью функции распределения $\Delta t_{\text{зад}}$ и правила 3σ .

Если время, затрачиваемое слушателем отклоняется от среднего значения не более, чем на σ в любую сторону, корректировка индивидуального балла слушателя не производится. Если $\Delta t_{\text{зад}}$ слушателя меньше среднего значения более, чем на σ , слушатель «поощряется» увеличением его индивидуального балла. И наоборот, если $\Delta t_{\text{зад}}$ слушателя больше среднего значения более, чем на σ , слушатель «наказывается» уменьшением его индивидуального балла. Применительно к комплекту заданий производится осреднение результатов.

По каждому заданию слушатель получает «временной» балл X_t :

- плюс 1, если $\Delta t_{\text{зад}} \leq \bar{\Delta t}_{\text{зад}} - \sigma$;
- минус 1, если $\Delta t_{\text{зад}} \geq \bar{\Delta t}_{\text{зад}} + \sigma$;
- ноль, если $\Delta t_{\text{зад}}$ отличается от $\bar{\Delta t}_{\text{зад}}$ не более, чем на σ .

Далее баллы X_t , полученные по всем заданиям, суммируются. Если сумма положительна, слушатель «поощряется», если отрицательна – «наказывается». «Размер» поощрения ($+\Delta X_t$) и наказания ($-\Delta X_t$) также определялся экспертами. Индивидуальный балл слушателя с учётом изложенных выше корректировок вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned} \tilde{X} &= (X - \Psi \Delta X \pm \Delta X_t) X_{k_1} \cdot X_{k_2} \cdot \dots \cdot X_{k_n} = \\ &= \left[\sum_{i=1}^M X_i - \frac{1}{1 - \frac{1}{M}} \left(1 - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M X_i \right) \Delta X + \text{sign} \left| \sum_{i=1}^M X_i \right| \Delta X_t \right] X_{k_1} \cdot X_{k_2} \cdot \dots \cdot X_{k_n}. \end{aligned} \quad (1)$$

В этой формуле $X_{k_1}, X_{k_2}, \dots, X_{k_n}$ – баллы (0 или 1), полученные при выполнении заданий из группы заданий (1, 2, ..., n), непосредственно влияющих на безопасность полётов. Остальные параметры пояснены выше.

Из (1) видно, что при правильных ответах на все задания, непосредственно влияющие

на безопасность полётов, сумма набранных баллов при выполнении всего теста не изменится. Если же хоть по одному заданию, непосредственно влияющему на безопасность полётов, будет дан неправильный ответ, сумма набранных при тестировании баллов обнуляется (тест не пройден).

Для определения выставяемой слушателю оценки по пяти бальной системе используются неравенства:

– оценка отлично, если \tilde{X}/M находится в интервале

$$\left(\frac{X}{M}\right)_5 - 1;$$

– оценка хорошо, если \tilde{X}/M находится в интервале

$$\left(\frac{X}{M}\right)_4 - \left(\frac{X}{M}\right)_5;$$

– оценка удовлетворительно, если \tilde{X}/M находится в интервале

$$\left(\frac{X}{M}\right)_3 - \left(\frac{X}{M}\right)_4.$$

Назначение границ оценочных диапазонов $(X/M)_5, (X/M)_4, (X/M)_3$ во многом субъективно и в данной статье не рассматривается.

Рассмотренная методика компьютерного тестирования теоретических знаний пилотов вертолётов, учитывающая особенности профессиональной деятельности пилотов, реализована в Учебном центре НПО «СПАРК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аванесов, В.С. Форма тестовых заданий / В.С. Аванесов. -М., 2005. -156 с.
- 2 Аванесов, В.С. Применение тестовых форм в Rasch Measurement / В.С. Аванесов // Пед. измерения. -2005. -№4. -С. 3-20.
- 3 Буравлев, А.И. Выбор оптимальной длины педагогического теста и оценка надежности его результатов [Электронный ресурс] / А.И. Буравлев, В.Ю. Переверзев. -Режим доступа: http://www.e-joe.ru/sod/99/2_99/st160.html.
- 4 Ким, В.С. Тестирование учебных достижений: монография / В.С. Ким. -Уссурийск: Изд-во УГПИ, 2007. -214 с.: ил.
- 5 Ким, В.С. Коррекция тестовых баллов на угадывание / В.С. Ким // Пед. измерения. -2006. -№4. -С. 47-55.
- 6 Майоров, А.Н. Теория и практика создания тестов для системы образования / А.Н. Майоров. -М.: Интеллект-центр, 2001. -296 с.
- 7 Переверзев, В.Ю. Технология разработки тестовых заданий: справ. рук. / В.Ю. Переверзев. -М.: Е-Медиа, 2005. -265 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: компьютерное обучение, тестирование профессиональных знаний, ранжирование тестовых заданий, учёт времени ответа

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Рыбкин Павел Николаевич, канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО «НПО «СПАРК»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 12, ЗАО «НПО «СПАРК»

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ НА ПРИТОКИ И БОКОВЫЕ РЕКИ

ООО Холдинговая компания «Якутский речной порт»

Р.В. Васильев

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF TRANSPORT-LOGISTICAL SYSTEMS OF DELIVERY OF CARGOES ON INFLOWS AND THE LATERAL RIVERS

Holding company «Yakut river port»
 R.V. Vasilev

The article contains results of substantiation of parameters of transport and technological systems of cargoes delivering in points of the river Vilyui

Keywords: delivery of cargoes, transportno-logistical systems, parameters, substantiation

Приведены результаты обоснования параметров транспортно-технологических систем доставки грузов в пункты реки Вилюй.

Формирование транспортно-логистических систем доставки различных грузов является одним из наиболее прогрессивных направлений развития теории и практики организации транспортного процесса. Многочисленные разработки и практическая реализация их результатов подтверждают высокую эффективность таких систем при организации мультимодаль-

ных и интермодальных перевозок.

Анализ этих тенденций в развитии теории и практики организации транспортного процесса на внутренних водных путях России проведён в работе [1]. На его основе произведено обоснование параметров транспортно-логистических систем (ТЛС) доставки грузов на притоки, боковые и малые реки. В качестве полигона исследования принят Ленский бассейн.

Для этого существуют соответствующие предпосылки. Прежде всего это наличие грузовых потоков внутрибассейнового производства и потребления местной продукции. В качестве таковых определены: нерудные строительные материалы, добываемые из карьеров в русле рек, и перевозимых к грузовым причалам для выгрузки на склад с последующей доставкой потребителям; завоз грузов на боковые реки и притоки; перевозка каменного угля, добываемого на шахтах Джебарики-Хая на р. Алдан и поставляемого в пункты Ленского бассейна. В результате выполненного анализа установлено, что при завозе угля на притоки наиболее стабильным и мощным грузопотоком является направленный в пункты реки Виллюй. В связи с этим он принят в качестве исходного при обосновании параметров ТЛС доставки грузов на притоки и боковые реки. Основными из них являются: цель формирования системы, её структура и организация.

Цель определена как полное и качественное удовлетворение спроса на транспортные услуги по доставке грузов. Оформляется она в форме задания, в котором указываются состав перевозок, характеристики грузовых потоков и срок предъявления их к перевозке.

Структура определяется видом и числом элементов, отражающих уровень технического оснащения и численность обслуживающего персонала системы. В рассматриваемых транспортно-логистических системах структура представляет собой транспортный и вспомогательный флот, состоящий из судов различных типов; рейды и рейдовое оборудование; причалы и причальные сооружения; перегрузочные машины и оборудование различного назначения; складское хозяйство; водные пути с гидротехническими сооружениями и судоходной обстановкой. При доставке угля в пункты р. Виллюй в состав структуры ТЛС входит подвижной состав сухопутного транспорта (грузовые автомобили на перевозках от шахты к причалам отправления и от причалов прибытия потребителей).

Организация – это способ взаимодействия элементов транспортно-логистической системы в процессе достижения поставленной цели и реализации задания.

Методический аппарат обоснования параметров ТЛС доставки каменного угля из шахт Джебарики-Хая в пункты реки Виллюй был реализован с помощью следующего укрупненного алгоритма:

- 1 Анализ существующей организации транспортного процесса доставки заданного рода груза;
- 2 Прогноз развития перевозок на основе изучения спроса на транспортные услуги, разработка плановой корреспонденции грузовых потоков;
- 3 Установление возможных альтернативных вариантов использования технических средств по типам, грузоподъемности, мощности и производительности;
- 4 Техническое нормирование работы флота и перегрузочных машин;
- 5 Расчет эксплуатационно-экономических показателей использования технических средств;
- 6 Определение потребности в технических средствах средств и емкости складов;
- 7 Анализ результатов выполненных расчетов итоговых показателей по намеченным вариантам и выбор оптимального по принятому критерию оценки эффективности.

В качестве критерия оценки принят показатель суммарных экономических расходов с учетом издержек потребителей по доставке грузов собственными силами и неявных издержек

$$Z = \mathcal{E}_\phi + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_e + \mathcal{E}_{ск} + C_n + C_H,$$

где \mathcal{E}_ϕ – эксплуатационные расходы по флоту и подвижному составу сухопутного транспорта, руб.;

$\mathcal{E}_n, \mathcal{E}_e$ – эксплуатационные расходы по перегрузочным машинам и оборудованию по операциям погрузки и выгрузки, руб.;

$\mathcal{E}_{ск}$ – эксплуатационные расходы по содержанию складов, руб.;

C_n – издержки потребителей при использовании собственных сил для доставки грузов, руб.;

C_n – неявные издержки, обусловленные стоимостью грузов в процессе транспортировки и хранения их на складах портов, руб.

По результатам принятого решения формирования конкретной ТЛС устанавливаются ее производственные возможности как пропускная способность. Она определяется с учетом провозной способности подвижного состава, пропускной способности причалов и складов.

Итак, логистическая цепь доставки каменного угля из шахт Джебарики-Хая в пункты реки Вилюй описывается следующей схемой (рисунок 1). От шахт до грузовых причалов пристани Джебарики-Хая на р. Алдан уголь перевозится автотранспортом. Здесь осуществляется его погрузка на речные суда с помощью системы транспортеров. Далее речные суда доставляют уголь в пункты реки Вилюй (Верхневилуйск, Нюрба, и Сунтар). Причальные сооружения здесь представляют собой ряжевую стенку, а в качестве перегрузочного средства используются плавучие краны КПЛ-5/30. От причалов доставку угля потребителям осуществляют автотранспортом с помощью составов ЗИЛ-ММЗ-4502.

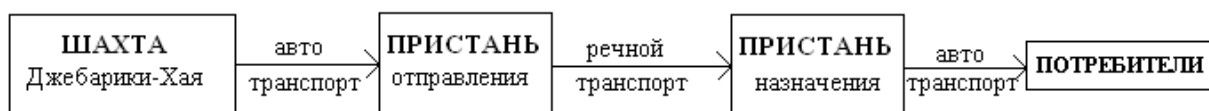


Рисунок 1 – Схема доставки угля.

Характеристики грузовых потоков определены по результатам выполненного анализа за период с 2005 по 2010 годы. Количество перевозок принято в размере 120 тыс. т.

Особенностью завоза грузов в пункты реки Вилюй является ограниченный период работы речных судов и регулирование глубин с помощью попусков Вилюйской ГРЭС (таблица 1).

Таблица 1 – Июньские среднедекадные глубины на участке р. Вилюй от Сунтар до устья

Декада	Обеспеченность, %				Минимальная глубина русла, см
	25	50	75	90	
I	430	295	205	185	175
II	350	225	190	180	140
III	280	220	190	160	135
IV	220	160	135	130	115

При обосновании структуры технических средств ТЛС в основном внимание уделено определению рационального типа судна и их количества для освоения заданного объема перевозок. Рассмотрены буксиры-толкачи проектов: Р-33ЛТ, 1741А и 911БМ; несамоходные грузовые суда проектов Р-56 и 942, а также грузовой теплоход-площадка проекта СК-2000К с приставкой пр. 942 и без неё. Система тягового обслуживания принята поучастковая: На участке Джебарики-Хая-устье р. Вилюй составы Р-33ЛТ+2×Р-56 и Р-33ЛТ+2×942; на участке устье р. Вилюй-пункты назначения 1741А+1×Р-56 и 911БМ+1×942. Грузовой теплоход работает по маршрутной схеме.

На основе анализа результатов выполненных расчетов по обоснованию типов судов в качестве рационального варианта принят грузовой теплоход с приставкой (СК-2000К+942). Себестоимость перевозок на всех направлениях здесь минимальная.

При обосновании организации перевозок угля и работы флота выполнены расчёты по определению характеристик судовых потоков: его размера, периода отправления, частоты и интервала отправления. В результате анализа полученных данных принята линейная форма движения, а также согласована работа флота и грузовых причалов в пунктах его обработки (таблица 2).

Таблица 2 – Схема освоения перевозок угля и организации работы флота из пункта отправления Джебарики-Хая

Пункт назначения	Масса груза, тыс. т	Тип судна	Загрузка, т	Судопоток, ед.	Период работы, сут.	Частота отправления судов, сут. ⁻¹	Продолжительность кругового рейса, сут.	Потребность во флоте, ед.
Верхневилуйск	46,9	СК+1	2000	24	45	2/3	9	6
Нюрба	49,6	СК+1	2000	25	42	2/3	10,5	7
Сунтар	23,5	СК+1	2000	12	36	1/3	12	4

Таким образом, по результатам выполненного обоснования определены основные параметры ТЛС доставки каменного угля из шахт Джебарики-Хая потребителям в пунктах реки Вилюй и структура технических средств (таблица 3). Параметр «задание» определён изначально на основе анализа существующей организации транспортного процесса и прогноза развития перевозок.

Таблица 3 – Структура технических средств транспортно-логистической системы доставки угля

Вид технического средства	Тип технического средства	Количество, ед.
Транспортные суда	Грузовой теплоход пр. СК-2000К	17
	Баржа пр. 942	17
Перегрузочная техника	КПЛ-5/30	3
Автомобили	ЗИЛ-ММЗ-4502 (самосвал)	6
	САЗ 3504 на базе ГАЗ-52-04	6
	САЗ 3503 на базе ГАЗ-52-04	6

В дополнение к выполненному исследованию проведено обоснование параметров ТЛС доставки нефтепродуктов потребителям в пунктах реки Вилюй. Логическая цепь описывается следующей схемой (рисунок 2): нефтепродукты, произведенные Братским нефтеперегонным заводом доставляются железнодорожным транспортном до станции Лена и нефтебазы г. Усть-Кута. Здесь они перегружаются на речные суда и транспортируются в пункты реки Вилюй (Верхневилуйск, Нюрба и Сунтар). На пристани груз выгружается местными нефтебазами, а затем доставляется к потребителям автотранспортом (бензовозы на базе ЗИЛ-157, ПЦ-5,6-817).

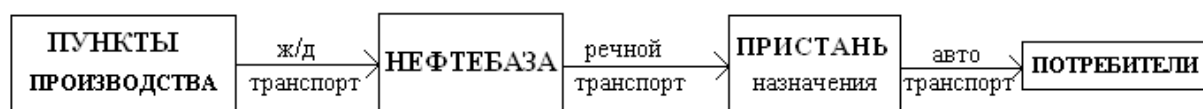


Рисунок 2 – Схема доставки нефтепродуктов

При обосновании типа судна и организации перевозок грузов рассмотрены танкеры Р-77 и 1754Б, имеющиеся на балансе ОАО «ЛОРП», ОАО «Киренская РЭБ» и ОАО «Алексеевская РЭБ». Несамостоятельные наливные суда не рассматривались в виду их ограниченного количества и использования на перевозках нефтепродуктов по магистрали.

В результате анализа полученных расчётных данных приняты для выполнения перевозок танкер пр. 1754Б и линейная форма организации перевозок (таблица 4), а также определена структура технических средств ТЛС (таблица 5).

Таблица 4 – Схема освоения перевозок нефтепродуктов и организации работы флота из пункта отправления Осетрово

Пункт назначения	Масса груза, тыс. т	Тип судна	Загрузка, т	Судопоток, ед.	Период работы, сут.	Частота отправления судов, сут. ⁻¹	Продолжительность кругового рейса, сут.	Потребность во флоте, ед.
Верхневилуйск	5,5	1754Б	1083	5	36	1/6	18	3
Нюрба	33,0	1754Б	1083	30	33	2/3	16,5	10
Сунтар	6,5	1754Б	1083	6	36	1/6	18	3

Таблица 5 – Структура технических средств транспортно-логистической системы доставки нефтепродуктов

Вид технического средства	Тип технического средства	Количество, ед.
Транспортные суда	Танкер пр. 1754Б	16
Автомобили	Бензовоз на базе ЗИЛ 157 ПЦ-5,6-817	6

В заключении следует отметить, что формирование на практике ТЛС доставки грузов на притоки и боковые реки Ленского бассейна возможно при участии как судоходных компаний, имеющих в наличии необходимое количество флота, так и речных портов, на которые воз-

лагаются непростые обязанности по обработке флота и сухопутного подвижного состава. Так, при формировании ТЛС доставки грузов в пункты реки Вилюй основная нагрузка ложится на ООО Холдинговая компания «Якутский речной порт».

В её состав входят судоходные компании ООО СК «Якутск» и ООО СК «Вилюй». Однако, они не могут полностью обеспечить флотом эти перевозки. Необходимо привлечь на основе аренды суда других судоходных компаний. Кроме того, для надежного функционирования требуются значительные усилия по взаимодействию всех элементов ТЛС и координации её работы с производителями и потребителями продукции. Эти задачи требуют отдельного рассмотрения и выходят за рамки данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Васильев, Р.В. Эволюция теории и практики организации транспортного процесса на внутренних водных путях / Р.В. Васильев // Проблемы функционирования и развития транспортного комплекса Сибири: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2011. -С. 5-13.

2 Васильев, Р.В. Анализ рынка транспортных услуг по перевозке грузов в Ленском бассейне / Р.В. Васильев // Проблемы функционирования и развития транспортного комплекса Сибири: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2011. -С. 120-124.

3 Зачёсов, В.П. Малые реки Сибири / В.П. Зачёсов, М.В. Малюшин. -Новосибирск: Сиб. соглашение, 2004. -364 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *доставка грузов, транспортно-логистические системы, параметры, обоснование*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Васильев Радий Вениаминович, генеральный директор ООО ХК «Якутский речной порт»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *677018, Республика Саха, г. Якутск, ул. Новопортовая, 1, ООО ХК «Якутский речной порт»*

РАЗВИТИЕ НЕПРОФИЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ВУЗА КАК УСЛОВИЕ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

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

Л.Ш. Омельченко

DEVELOPMENT OF NON-CORE SPECIALITIES OF A TRANSPORT HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION AS A CONDITION FOR INCREASING COMPETITIVE ADVANTAGE

«Maritime state university named adm. G.I. Nevelskoy»

L.Sh. Omelchenko

The paper covers the issues of a branch higher educational institution's competitive advantages on the basis of training students of non-core specialties as one of the methods for gaining more competitive advantage on the educational service market.

Keywords: competitive advantage of a higher educational institution, maritime industry professionals, non-core specialties, labor market demand

Рассмотрены вопросы конкурентоспособности отраслевого вуза на основе развития подготовки студентов непрофильных специальностей как одного из направлений достижения более устойчивых конкурентных позиций на рынке образовательных услуг.

Развитие транспортной системы страны сегодня является необходимым условием реализации инновационной модели экономического роста страны и улучшения качества жизни населения. Создание современной и эффективной транспортной инфраструктуры позволяет обеспечить территориальную целостность государства и экономическую связанность регионов России в единое хозяйственное пространство.

Важным фактором, обеспечивающим развитие транспортной системы государства является подготовка квалифицированных и профессионально подготовленных кадров для отрасли.

По прогнозам Минтранса РФ ежегодная текущая потребность в молодых специалистах с высшим образованием на период 2010-2015 гг. составляет ежегодно: на железнодорожном транспорте – с высшим образованием 6,4 тыс. человек, на морском и речном транспорте – не менее 10 тыс. человек, на автомобильном транспорте – свыше 5,4 тыс. человек. Кроме того, гражданской авиации ежегодно требуется более 4 тыс. авиационных специалистов с высшим образованием [2].

Одним из ведущих транспортных вузов России и Дальнего Востока является Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского (далее МГУ им. адм. Г.И. Невельского). Университет занимается подготовкой квалифицированных кадров для морского транспорта России и в настоящее время является единственным профильным ву-

зом на Дальнем Востоке.

МГУ им. адм. Г.И. Невельского готовит специалистов всех профилей, необходимых морскому транспорту: судоводителей, судомехаников, электромехаников, радистов, экономистов, менеджеров, психологов, морских юристов и др. К тому же, университет, осуществляя подготовку курсантов по плавательным специальностям, имеет существенное преимущество – помимо государственного диплома о высшем образовании он выдает сертификаты и рабочие дипломы, позволяющие работать выпускникам вуза за рубежом.

Таким образом, МГУ им. адм. Г.И. Невельского выступает в роли высшего учебного заведения, осуществляющего подготовку кадров для развивающегося международного рынка труда. На это же направлена и совместная российско-китайская программа подготовки специалистов с высшим образованием с Даляньским морским университетом, которая успешно осуществляется МГУ им. адм. Г.И. Невельского с 2009 года.

Одним из важных качеств, необходимых в будущем руководителям и специалистам отрасли является способность не только выполнять свои профессиональные обязанности, но и иметь определенные специфические навыки и знания, которые дают возможность представлять Россию на международном рынке труда. В данном случае речь идет не только о конкурентоспособности самого вуза, но и его выпускников. В связи с этим, важное значение имеет более точное понимание термина «конкурентоспособность вуза», в частности вуза, готовящего специалистов для транспортной отрасли. На наш взгляд основными показателями, которые могут характеризовать конкурентоспособность транспортного вуза, в частности вуза, готовящего специалистов для морского транспорта, являются следующие:

- уровень сохранности контингента (в первую очередь курсантов);
- коэффициент востребованности выпускника работодателем (по основным плавательным специальностям);
- конкурс на одно место по профильной и непрофильной специальностям и др.

Помимо этих показателей важное значение имеют традиционные показатели, по которым оценивается научная и образовательная деятельность, в частности, показатели, указанные в письме Роспотребнадзора и Рособрнадзора, включающие в себя уровень обеспеченности учебного процесса квалифицированными ППС, объем научно-исследовательских работ, уровень докторов и кандидат наук, участвующих в учебном процессе, количество выпускаемых научных работ и монографий и т.д.

Подготовка специалистов по ряду непрофильных специальностей, к которым например, относятся специальность «Экономика и управление на предприятии», «Психология», «Документоведение и документационное обеспечение» и т.д. была организована в МГУ им. адм. Г.И. Невельского и других вузах водного транспорта в 90-е гг. XX века с учетом потребностей предприятий отрасли, во исполнение постановления Коллегии Минтранса РФ №18 от 23.12.1998 г. «О совершенствовании системы транспортного образования» [1, 3]. Данная мера позволила вузам отраслевого сектора достичь более устойчивых конкурентных позиций на рынке образовательных услуг в условиях ограниченного бюджетного финансирования в указанный период.

Однако в настоящее время вопрос о непрофильных специальностях целесообразно рассматривать двояко. С одной стороны, для государства невыгодно финансировать вузам непрофильные специальности, но с другой стороны – можно согласиться с мнением представителей транспортных компаний о том, что невозможно отнести подготовку специалистов в области экономики, финансов и юриспруденции и т. п. в разряд «непрофильных» для транспортных вузов [5]. Непрофессионалам кажется, что этих специалистов может готовить любой ВУЗ, однако у транспорта есть своя специфика. Необходимы специалисты, которые бы ясно понимали, из чего складываются доходы компании, за счет чего они могут быть увеличены и на какие нужды потрачены. Кроме того, уже сегодня при реализации масштабных международных проектов крупные транспортные предприятия, например ОАО «РЖД», ощущают сегодня острую нехватку специалистов, которые бы знали международное транспортное право, обладали навыками ведения переговоров с зарубежными партнерами, владели международными финансами, учетом, знаниями в области рынка ценных бумаг, инвестирования и т.п. Разумеется, они должны владеть и хотя бы одним иностранным языком, но не на бытовом уровне, а на профессиональном, знать нормы международного и делового этикета и т.п. [4].

Попытаемся проанализировать, какую позицию занимает МГУ им. адм. Г.И. Невельского по некоторым непрофильным специальностям на рынке образовательных услуг

г. Владивостока и Приморского края.

В настоящее время наиболее динамично развивающейся сферой рынка образовательных услуг Приморского края является сфера высшего экономического образования. Изменение социальных, экономических и политических условий привели к тому, что специальности экономического профиля стали одними из самых популярных, престижных и востребованных потребителями образовательных услуг не только в Дальневосточном регионе, но и по России в целом. Отметим, в частности, что численность студентов в 2009/10 учебном году в Приморском крае по сравнению с 2005/06 учебным годом сократилась на 3,5%. Вместе с тем, темпы снижения численности студентов экономических специальностей были ниже темпов снижения общей численности студентов Приморского края. За 5 лет численность студентов экономических специальностей (в государственных вузах) снизилась на 0,7% [6].

В настоящее время вузы конкурируют между собой по основным экономическим и ряду неэкономических специальностям. Одним из показателей, косвенно характеризующих конкурентоспособность вузов, на настоящее время, является показатель изменения численности обучающихся по экономическим специальностям.

Рассмотрим изменения численности студентов по основным экономическим специальностям.

Так, в 2010 г. численность студентов по специальности «Экономика и управление на предприятии» во Владивостокском государственном университете экономики и сервиса (ВГУЭС) по сравнению с 2006 г. увеличилась на 50,5%. За тот же период в Дальневосточном государственном техническом рыбохозяйственном университете (Дальрыбвтуз) этот показатель снизился на 68,3%, в Тихоокеанском государственном экономическом университете (ТГЭУ) на 10,4%, а в МГУ им. адм. Г.И. Невельского на 67,0%.

Другая, не менее популярная специальность это «Менеджмент организации». В 2010 г. численность студентов во ВГУЭС увеличилась по сравнению с 2006 г. на 0,6%. В тоже время в Дальрыбвтуз этот показатель уменьшился на 55,9%, в ТГЭУ на 21,4%, а в МГУ им. адм. Г.И. Невельского на 78,6%.

И наконец, специальность «Маркетинг». В 2010 г. произошло уменьшение численности студентов данной специальности по сравнению с 2006 г. во ВГУЭС на 13,6%, в Дальрыбвтузе на 50,4%, в ТГЭУ на 30,3%, в МГУ им. адм. Г.И. Невельского на 78,8%.

Однако, изменение (в основном снижение) численности обучающихся по указанным специальностям не дает объективной оценки конкурентоспособности транспортного вуза, потому что те показатели, которые рассматривались выше являются, во-первых, показателями, которые не отражают причины такого изменения, а во-вторых, открытие новых специальностей и специализаций естественно ведет к перетокам внутри экономических специальностей. Более того, создание в 2010 г. Дальневосточного Федерального университета (далее ДВФУ) по-новому расставило акценты на востребованность указанных специальностей как в рамках ДВФУ (что связано с потенциальным переездом студентов на остров «Русский», где располагается кампус ДВФУ) и др. вузов, остающихся в более удобной транспортной доступности.

Другой показатель, характеризующий конкурентоспособность выпускников вузов, это показатель работы выпускника по специальности. Однако и в этом случае к указанным данным надо относиться с осторожностью. Это связано с тем, что например вузы, ведущие учет по базам данных «Выпускник», заполняют в графе «Специальность», но не указывают к какой отрасли относится данное предприятие.

Помимо этого, характерной чертой последнего десятилетия развития образования в Приморском крае становится все нарастающая тенденция оттока специалистов с высшим образованием в центральные районы страны и за рубеж. В этом случае, на наш взгляд, отрицательным фактором является то, что вузы Дальнего Востока, в том числе и Приморского края, начинают готовить специалистов не для региона, а для центральных районов страны и других государств.

Кроме указанных факторов, необходимо назвать те причины, которые с нашей точки зрения, снижают конкурентоспособность «непрофильных» экономических и др. специальностей в Приморском крае. К ним, в частности, можно отнести: сравнительно небольшой срок работы вузов на данном конкурентном поле, в частности «Экономика и управление на предприятии» (около 20 лет); ориентация вуза на различные сегменты рынка труда; отсутствие в филиалах университета возможности обучаться по специальностям, заявленных в головном вузе; двойственное отношение руководства отрасли к наличию непрофильных специальностей.

стей в профильном вузе (ведомственном вузе) и т.п.

Подводя итог сказанному выше, можно сказать, автор разделяет позицию Е.В. Щуровой, которая заключается в том, что развитие «непрофильных специальностей», в частности в транспортных вузах, позволяет получить дополнительное внебюджетное финансирование, а также дает возможность изучить выбранную «непрофильную специальность» более глубоко, и применить к особенностям той или иной отрасли национальной экономики [5].

Так, в частности, ориентация МГУ им. адм. Г.И. Невельского на подготовку специалистов для морского транспорта задает определенные ориентиры и для подготовки экономистов, которые ознакомительную производственную и преддипломную практики проходят на предприятиях, связанных с морским флотом, изучая особенности, специфику морского транспорта, транспорта экспедиторского обслуживания и др. Поэтому, наиболее рациональным с нашей точки зрения, вариантом дальнейшего развития непрофильного образования в транспортных вузах является переход от удовлетворения потребностей в образовательных услугах исключительно гуманитарной и экономической сферы на «обслуживание» профильного производства, что позволит сегменту непрофильного образования занять особую нишу на рынке образовательных услуг в вузах, специализирующихся на подготовке специалистов для конкретных отраслей.

Таким образом, с нашей точки зрения, дальнейшее развитие «непрофильных специальностей» в отраслевых вузах является не только экономически и финансово оправданным направлением их развития но и позволяет, как мы считаем, готовить специалистов именно для тех отраслей, в которых они в дальнейшем будут работать, что безусловно повышает рейтинг как самих выпускников, так и самих вузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Беляев, И.Г. Состояние и проблемы развития морского образования / И.Г. Беляев // Опыт мор. учеб. заведений: информ.-метод. сб. -1997. -№1 (44). -С. 1-9.
- 2 Дынкин, Б.Е. Решение транспортных проблем – главное условие развития Дальнего Востока [Электронный ресурс]: / Б.Е. Дынкин. -Режим доступа: <http://dvdorogi07.ucoz.ru/publ/1-1-0-253>. -08.2008.
- 3 О состоянии и мерах по развитию морского образования [Электронный ресурс]: офиц. сайт М-ва трансп. Рос. Федерации. -Режим доступа: http://www.mintrans.ru/pressa/Koll_001114_Spravka.htm. -18.03.2007.
- 4 Погребнов, С. Где учат «штучным» профессиям? [Электронный ресурс]: / С. Погребнов. -Режим доступа: <http://www.transportrussia.ru/podgotovka-spetsialistov/sistemnaya-perezagruzka.html>. -11.09.2011.
- 5 Щурова, Е.В. Где учат «штучным» профессиям? [Электронный ресурс]: / Е.В. Щурова. -Режим доступа: <http://www.transportrussia.ru/podgotovka-spetsialistov/sistemnaya-perezagruzka.html>. -11.09.2011.
- 6 Режим доступа: <http://www.primstat.ru/digital/region2/default.aspx>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкурентоспособность вуза, специалисты морской отрасли, непрофильные специальности, потребность рынка труда
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Омельченко Любовь Шанваровна, аспирант ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАВОЗА ГРУЗОВ НА БОКОВЫЕ РЕКИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

М.Г. Синицын

FEATURES OF THE ORGANIZATION OF DELIVERY OF CARGOES ON THE LATERAL RIVERS TAKING INTO ACCOUNT APPLICATION OF ELEMENTS OF LOGISTICAL TECHNOLOGIES
«Novosibirsk state academy of water transport»

M.G. Sinitsyn

Problems of delivery of cargoes on the small rivers with difficult conditions of navigation and the decision of these problems are considered. Classification of the rivers is made Depending on the operational period of the river.

Keywords: logistics, the extreme north, traveling conditions, the small river, turnover of goods

Рассмотрены проблемы завоза грузов на малые реки со сложными условиями судоходства и решения этих проблем. Произведена классификация рек в зависимости от эксплуатационного периода реки.

Транспортная система, являясь одной из основных компонентов экономики территорий,

должна обладать повышенной гибкостью, строиться по модульному принципу, то есть обладать всеми качественными характеристиками обслуживаемых районов как целого, а именно: целенаправленностью, управляемостью, надежностью.

Чтобы обеспечить конкурентные преимущества транспортного комплекса Российской Федерации необходимо широкое внедрение логистических технологий, которое призвано повысить эффективность и гибко реагировать на меняющуюся конъюнктуру рынка обслуживания грузовладельцев. В современных условиях, при наличии большого количества перевозчиков, которые действуют по собственному усмотрению, внедрение данных технологий позволит соединить в единую транспортную сеть работающие суда с другими элементами логистической цепи и упорядочить их работу.

Особенно это актуально в условиях смещения грузопотоков на боковые и малые реки, Крайний Север, уменьшения стабильности грузопотоков.

Мобильная организация транспортного обслуживания боковых и малых рек в период весеннего половодья является составляющей общего транспортного процесса судоходной компании, которая включает транспортный флот, перегрузочную технику, мастерские, бункеровочные базы, дебаркадеры, брандвахты, инженерно-технических работников выездных пристаней, бригады портовых рабочих и ремонтников. Гибкая организация доставки грузов в пункты со сложными условиями судоходства затрагивает целый спектр технических, технологических и организационных проблем. Особенность современного этапа состоит в том, что качественное и своевременное обслуживание труднодоступных и отдаленных районов зависит не только от работы судоходных компаний, но и от их партнеров по транспортному процессу, по согласованности принимаемых ими решений в системе управления доставкой грузов.

Организация завоза грузов на малые реки с экстремальными условиями судоходства, в силу целого ряда объективных причин, требует согласования действий самостоятельных участников транспортной кооперации, которые закрепляются совместно принятыми нормативными актами.

Единая система взаимоувязанного технологического процесса доставки грузов в пункты малых рек предполагает разработку и внедрение новых форм взаимодействия предприятий и организаций, участвующих в перевозках грузов. При этом один из множества участников транспортного процесса становится головной организацией и в оперативном порядке осуществляет координацию деятельности предприятий и организаций, входящих в транспортную кооперацию. В основе управления при таком подходе используется штабная система, функционирующая на период подготовки и исполнения плана завоза грузов в пункты, расположенные на малой реке.

В состав рек, временно используемых для судоходства, входят реки, не имеющие гарантированных габаритов судового хода, а также часть рек с гарантированными параметрами судового хода, но имеющие обеспеченность менее 50% продолжительности навигации [1].

В зависимости от эксплуатационного периода реки этой категории делят на две группы: с периодом завоза до 30 суток и с периодом более 30 суток (таблица).

На малых реках первой группы за многие годы сложилась экспедиционно-маршрутная система организации перевозок с критическим режимом работы судов.

Для рек второй группы организация судоходства может осуществляться по рейсовой форме с определенным интервалом следования судов, обеспечивающим ритмичную работу перегрузочного оборудования.

Весенний завоз грузов характеризуется высокой кратковременной концентрацией большого количества флота, перегрузочной техники, автотранспорта в пунктах разгрузки флота. В этот период существенно усложняется организация и управление транспортным процессом. Повышаются требования к безопасности плавания, ведь флот идет прямо за ледоходом, при резких колебаниях уровней воды, порой при отсутствии судоходной обстановки. С учетом того, что работа флота здесь возможна в предельно сжатые сроки, иногда до 10-15 суток, транспортное освоение отдельных участков рек традиционными методами, силами вновь создаваемых стационарных причалов, портов, РЭБ флота не всегда экономически оправдано, связано с дополнительными транспортными издержками и затратами времени. Грузооборот отдельных пунктов невелик. На некоторых реках возможный период завоза грузов в течение навигации чрезвычайно мал, а уровни воды в весенний период колеблются от 5 до 15 м. Все это снижает экономический эффект от строительства стационарных

баз обслуживания транспортного флота [2].

В этих условия должна быть заложена гибкость и мобильность перевозочного процесса, возможность широкого маневра ресурсами речного транспорта. Именно гибкая организация транспортного процесса позволяет быстро концентрировать флот, перегрузочную технику в зонах появления наибольших транспортных нагрузок.

Таблица – Взаимосвязь характера изменения глубин малых рек восточных бассейнов с экстремальными условиями судоходства с их гидрологическими типами и периодом завоза грузов

Характер изменения глубин	Гидрологический тип малых рек	Реки, освоенные для судоходства с периодом завоза		Пароходство
		до 30 суток (I группа)	более 30 суток (II группа)	
Устойчивый	Искусственно-зарегулированный		Виллой	Ленское
Плавно изменяющийся	Западно-Сибирский		Лямин, Тромъеган	Обь-Иртышское
		Елогуй	Бакчар, Парабель, Парбиг, Тым, Чаус, Чая, Чузик	Западно-Сибирское
Скачкообразный (резко изменяющийся)	Тундрово-Таежный	Турухан	Марха, Тюнг, Чондон	Ленское
	Средне-Сибирский	Большой Пит	Нижняя Тунгуска, Подкаменная Тунгуска	Енисейское
		Степной		Лунгха
	Горно-Северо-Восточный		Малый Анюй, Омолон	
				Индибирка, Колыма
Скачкообразный (чередующийся)	Восточно-Сибирский	Кас, Сым		Енисейское
			Баргузин, Верхняя Ангара	Восточно-Сибирское
			Лена (верхний участок)	Верхне-Ленское
		Амга, Жуя, Мая, Чара	Адыча	Ленское
			Яна	Янское

При создании мобильных организационно-технических систем перевозок становится выгодным перевозить сравнительно небольшие партии грузов в многочисленные пункты боковых и малых рек в весенний период навигации, так как звенья транспортного процесса после работы на боковой или малой реке могут передислоцироваться на другие участки рек, туда, где имеются более благополучные условия судоходства.

Для многих предприятий, пользующихся услугами речного транспорта и расположенных на боковых (малых) реках надежность транспортного обслуживания имеет первостепенное значение.

Сложные путевые условия, быстрый спад воды позволяет сделать вывод о том, что надежность системы в значительной степени определяется временем безотказной работы транспортных звеньев или гарантированным сроком завоза грузов по малой реке. Поэтому очень важно детальное изучение динамики уровней воды, фаз режима рек, которая непосредственно влияет на величину периода работы транспортных средств [3].

Сумма произведений класса глубин на продолжительность ее стояния дает оценку транспортной возможности конкретного участка водного пути, является его ресурсом:

$$P_{ВП}^y = K_n t_n + K_{n-1}(t_{n-1} - t_n) + \dots + K_1(t_1 - t_2), \text{ суток}, \quad (1)$$

где K_n – n -класс глубины судового хода;

t_n – продолжительность стояния судового хода n -го класса, суток.

Величина ресурса участка водного пути с учетом гарантированной глубины судового хода определяется как произведение продолжительности физической навигации на соответствующий класс гарантированной глубины судового хода

$$P_{ВПГ}^y = T_H K_G, \text{ суток}, \quad (2)$$

где T_H – продолжительность физической навигации, суток;

K_G – класс гарантированной глубины судового хода.

Зная количественное значение данного показателя можно определить режим работы судов, подобрать флот в соответствии с грузопотоками, габаритами судового хода, и как следствие этого установить продолжительность и период работы отдельных типов судов, определить общий период завоза грузов, используя разработанную в НГАВТе классификацию судов по их осадкам.

Расчетный рабочий период пункта выгрузки на малой реке ограничивается временем необходимым на прибытие в него первого груженого судна и необходимым временем на беспрепятственный выход из границ малой реки последнего порожнего судна. В случае использования мобильных перегрузочных средств (плавающих, судовых, пневмоколесных) они могут накладывать ограничения на продолжительность периода выгрузки судов.

Аналитически расчетный рабочий период пункта выгрузки определяется

$$t_p^e = t_n - t^{y-e} - t^{e-y}, \quad (3)$$

где t^{y-e} – затраты времени на движение груженого судна (состава) на малой реке (от его устья до пункта выгрузки на малой реке), суток;

t^{e-y} – время выхода порожнего (груженого) судна (состава) с малой реки (от пункта выгрузки до устья малой реки), суток.

Во всех рассмотренных группах рек (см. таблицу), обслуживающих только в полноводный (ограниченный) период навигации, возникает проблема поиска дополнительных резервов в улучшении использования речного транспорта, и в первую очередь, за счет оптимального соотношения крупнотоннажного и малотоннажного флота. Это вызвано нехваткой малотоннажных судов, наличием разнотипного флота и др.

Методика решения данных вопросов при наличии только однотипного флота и различных типов крупнотоннажных и малотоннажных судов:

- 1 При наличии достаточного количества оптимального флота – крупнотоннажного

$$\Phi_{km} = \frac{G_{km} I_e}{P_{km} t_{km} Q_p^{km}}; \quad (4)$$

где G_{km} – масса груза, которая может быть освоена крупнотоннажным флотом, т;

I_e – дальность перевозки груза, км;

P_{km} – производительность в валовые сутки крупнотоннажного флота, ткм/тнж. сутки;

t_{km} – расчетный рабочий период крупнотоннажного флота, суток;

Q_p^{km} – регистрационная грузоподъемность крупнотоннажного флота, т.

– малотоннажного

$$\Phi_{mm} = \frac{G_{mm} I_e}{P_{mm} t_{mm} Q_p^{mm}}; \quad (5)$$

где G_{mm} – масса груза, которая может быть освоена малотоннажным флотом, т;

P_{mm} – производительность в валовые сутки малотоннажного флота, ткм/тнж. сутки;

t_{mm} – расчетный рабочий период малотоннажного флота, суток;

Q_p^{mm} – регистрационная грузоподъемность малотоннажного флота, т.

- 2 При отсутствии необходимого количества флота (Φ_{km} определяется по (4))

$$\Phi_{mm} = \frac{(G_{km} + G_{mm}) I_e - \Phi_{km} P_{km} t_{km} Q_{pi}^{km}}{P_{mm} t_{mm} Q_p^{mm}}. \quad (6)$$

Решение выше перечисленных проблем позволяет реализовать динамические резервы в транспортном обслуживании малых рек. За счет использования элементов логистики транспортные предприятия достигнут больше стабильности, предсказуемости, конкурентоспособности, технологичности в перевозках, в том числе и в сфере экспорта транспортных услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методика обоснования схем завоза грузов на малые (боковые) реки / В.П. Зачесов, А.П. Панюкин, А.А. Калинин, Г.Я. Сеницын. -Новосибирск: Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп., 1989. -74 с.

2 Некрасов, Н.А. Организация доставки грузов с применением мобильных транспортно-перегрузочных комплексов / Н.А. Некрасов, Г.Я. Сеницын // Совершенствование работы речного транспорта Сибири: сб. науч. тр. / Новосибир. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1991. -С. 16-22.

3 Сеницын, М.Г. Взаимодействие работы флота на внутренних водных путях / М.Г. Сеницын // Проблемы функциониро-

вания и развития транспортного комплекса Сибири : сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2011. -С. 65-71.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: логистика, крайний север, путевые условия, флот, навигация, малая река, грузооборот
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Синицын Михаил Геннадьевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

РЕШЕНИЕ ПЛОХО ФОРМАЛИЗОВАННЫХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

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

Ю.Ю. Почесуева, Н.Г. Левченко

THE SOLUTION OF ILL-FORMALIZED PROBLEMS USING HYBRID INTELLECTUAL SYSTEMS

«Maritime state university named adm. G.I. Nevelskoy»

Ju.Yu. Pochesueva, N.G. Levchenko

The example of simulation model constructing with adaptive neural fuzzy logic system for the solution, of ill-formalized problems is presented. The model is implemented in packet Fuzzy Logic Toolbox of system MATLAB in the form of hybrid network ANFIS.

Keywords: hybrid intellectual systems, ill-formalized (ill-defined) problems, fuzzy logic system

Представлен пример построения имитационной модели с использованием адаптивной системы нейронечеткого вывода для решения плохо формализованной задачи. Модель реализована в пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB в форме гибридной сети ANFIS.

Перспективным направлением в области решения задач прогнозирования, управления и принятия решений является применение аппарата гибридных интеллектуальных систем (ГИС), основанных на нейросетевых технологиях [1], которые позволяют использовать преимущества традиционных средств и методов искусственного интеллекта, и, в то же время, преодолевают некоторые их недостатки, способны решать задачи, нерешаемые отдельными методами искусственного интеллекта. ГИС позволяют более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания, сочетая в себе достоинства нейронных сетей и систем нечеткого вывода. С одной стороны, они позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной интерпретации. С другой стороны, для построения правил нечетких продукций используются методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким процессом для системных аналитиков [2].

В качестве примера построения и использования адаптивной системы нейронечеткого вывода рассмотрим процесс разработки нечеткой модели гибридной сети учебного процесса в ВУЗе.

Суть данной задачи состоит в том, чтобы, определив некий набор влияющих на обучение студента факторов, построить такую имитационную модель образовательного процесса, которая позволит выявить наиболее эффективные управляющие воздействия на систему, таким образом обеспечить необходимое качество образовательных услуг. Тем более, что большей частью неизвестно всё количество влияющих факторов и не все они явные, также не все они могут быть точно формализованными, поэтому могут быть заданы нечеткими, размытыми и качественными оценками. Далее в процессе совершенствования модели набор факторов может дополняться, не влияя на саму систему (метод решения), при этом улучшая качественно «портрет» объекта исследования.

В пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB гибридные сети реализованы в форме так называемой адаптивной системы нейро-нечеткого вывода ANFIS [3]. С одной стороны, гибридная сеть ANFIS представляет собой нейронную сеть с единственным выходом и несколькими входами, которые представляют собой нечеткие лингвистические переменные. При этом термы входных лингвистических переменных описываются стандартными для системы MATLAB функциями принадлежности, а термы выходной переменной представляются линейной или постоянной функцией принадлежности.

С другой стороны, гибридная сеть ANFIS представляет собой систему нечеткого вывода FIS типа Сугено нулевого или первого порядка, в которой каждое из правил нечетких продукций имеет постоянный вес, равный единице.

Редактор ANFIS позволяет создавать или загружать конкретную модель адаптивной системы нейро-нечеткого вывода, выполнять ее обучение, визуализировать ее структуру, изменять и настраивать ее параметры, а также использовать настроенную сеть для получения результатов нечеткого вывода.

Невозможно получить сколько-нибудь удовлетворительный результат с помощью нейронных сетей, подав на вход необработанные данные. Для работы с нейронными сетями важно не только тщательно отобрать показатели: необходимо также представить их в определенной, понятной для сети форме [4].

Нейронные сети лучше реагируют не на исходные данные, а на ряды приращений. Этот факт можно объяснить тем, что в нейронной сети задается диапазон значений, определяемый наибольшим и наименьшим значениями из обучающей выборки. Если этот диапазон велик, а сами значения при переходе от наблюдения к наблюдению изменяется на незначительную по сравнению с диапазоном величину, то нейронная сеть попросту не придаст должного значения этим изменениям. Кроме того, использование при работе с сетью приращений позволяет получать прогноз в случае, когда абсолютные значения переменных, на основе которых строится прогноз, выходят за пределы диапазона установленного при обучении.

На первом шаге создания интеллектуальной системы обучающая выборка, представленная на рисунке 1, преобразовывается в вид понятный и содержательный для сети, сохраняется в файл с расширением *.dat и загружается в Anfis-редактор.

		базовые знания (средний начальный балл)	научная жизнь курсанта (от 0 до 10)	общественная жизнь курсанта (от 0 до 10)	квалификация преподавателя (ассистент-от2до3, ст. преподаватель-от4до6, доцент-от7до8, профессор-от9до10)	возраст преподавателя (до 25 - от1до3, от 26 до 35 - от3до6, от 36 до 55 - от6до10, старше 56 - от3до7)	обеспечение литературой	обеспечение оборудованием	Средний балл по итогам семестра	
Курсант ФИО		дайте оценку критериев по десятибалльной шкале								
Алексин ИА										
1 курс	1 семестр	история	4.84	6	8	8	9	8	5	4.4
		математика	4.84	6	8	10	7	6	6	4.4
		химия	4.84	6	8	7	7	7	6	4.4
		нач. геометрия	4.84	5	8	9	9	7	6	4.4
		география	4.84	8	8	8	4	5	6	4.4
1 курс	2 семестр	культурология	4.4	6	6	5	8	8	6	4.75
		нач. геометрия	4.4	8	6	9	9	7	6	4.75
		физ.восп. и спорт	4.4	10	6	7	6	8	8	4.75
		математика	4.4	3	6	10	7	6	8	4.75
		информатика	4.4	6	6	6	6	9	9	4.75

Рисунок 1 – Фрагмент экспериментальных данных для обучения ГИС

Перед генерацией структуры системы нечеткого вывода типа Сугено после вызова диалогового окна свойств задается для каждой из 7 входных переменных по 3 лингвистических термина типа gaussmf. В качестве типа функции принадлежности выходной переменной принимается линейная функция.

Нечеткая модель Сугено первого порядка с семью входами и одним выходом состоит из правил вида:

$$R_i: \text{If } X \text{ is } A_i \text{ and } Y \text{ is } B_i \text{ and } Z \text{ is } C_i \text{ and } Q \text{ is } D_i \text{ and } W \text{ is } G_i \text{ and } V \text{ is } H_i \text{ and } L \text{ is } J_i \text{ then } z_i = s_i x + t_i y + p_i z + n_i q + m_i w + k_i v + u_i l,$$

где X, Y, Z, Q, W, V, L – нечеткие переменные, определенные на множествах вещественных чисел $D_X, D_Y, D_Z, D_Q, D_W, D_V$ и D_L ;

$A_i, B_i, C_i, D_i, G_i, H_i, J_i$ – значения нечетких переменных X, Y, Z, Q, W, V, L в правиле R_i .

Значения нечетких переменных определяются как нечеткие множества, определенные на $D_X, D_Y, D_Z, D_Q, D_W, D_V$ и D_L . Нечеткая модель представляет собой совокупность правил

указанного вида. Для заданных вещественных значений входных сигналов $x^*, y^*, z^*, q^*, w^*, v^*, l^*$ в каждом правиле вычисляется значение правой части

$$z_i = s_i x^* + t_i y^* + p_i z^* + n_i q^* + m_i w^* + k_i v^* + u_i l^* + r_i, \quad (2)$$

и сила его срабатывания

$$w_i = AND[A_i(x)^*, B_i(y)^*, C_i(z)^*, D_i(q)^*, G_i(w)^*, H_i(v)^*, J_i(l)^*], \quad (3)$$

где AND – вещественная функция от двух переменных, формализующая операцию конъюнкции.

Значения правых частей правил агрегируются с учетом силы срабатывания правил

$$z = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i}. \quad (4)$$

В этих правилах учитываются факторы, влияющие на учебный процесс – стремление и возможности отдельных преподавателей отдать свои знания и стремление и возможности студентов получить эти знания.

В результате на выходе нечеткой модели получается вещественное значение переменной z . Таким образом, нечеткая система определяет некоторую вещественную функцию, зависящую от способа задания нечетких множеств и определения операции конъюнкции.

Обучение гибридной сети происходит с помощью метода hybrid, который представляет собой комбинацию метода наименьших квадратов и метода убывания обратного градиента. После окончания обучения выполнен анализ графика ошибки обучения (рисунок 2).

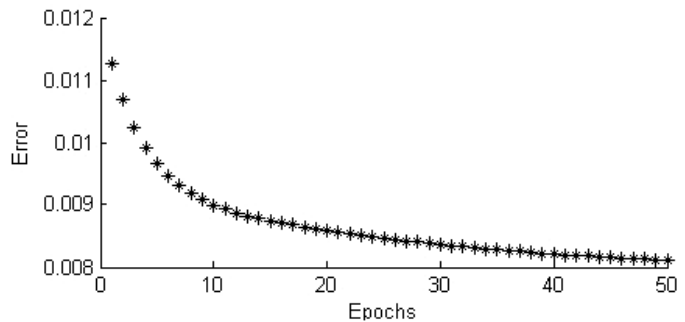


Рисунок 2 – График зависимости ошибок обучения от количества циклов обучения

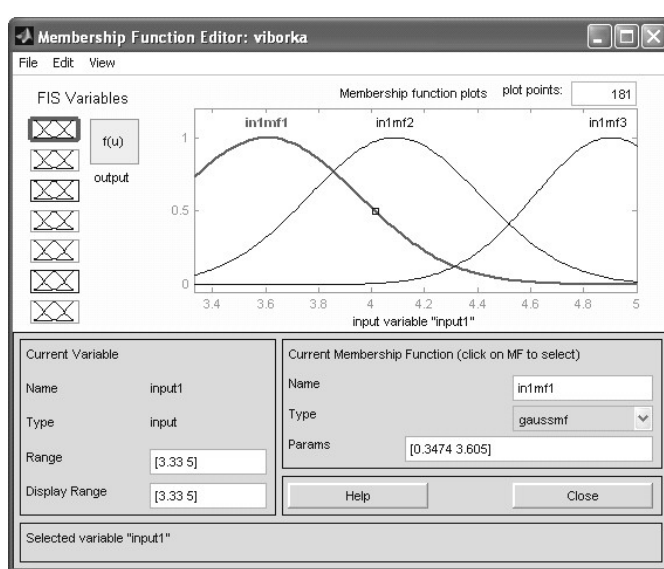


Рисунок 3 – Графический интерфейс редактора FIS для сгенерированной системы нечеткого вывода

С помощью графических средств системы MATLAB можно выполнить контроль и настройку параметров функций принадлежности входных переменных. Для выполнения соответствующих операций используется редактор функций принадлежности (рисунок 3).

Проверка адекватности построенной модели на нечеткой логике выполняется, используя данные из тестирующей выборки (рисунок 4). Левая часть нижеприведенной таблицы содержит набор заранее известных исходных данных и реальные оценки курсанта, взятые из журнала успеваемости. В правой части таблицы содержатся результаты проверки ГИС.

Сравнивая полученные системой оценки с соответствующими оценками тестируемого курсанта от курса к курсу, можно констатировать практически точное совпадение этих значений и при округлении

до целой части – абсолютное совпадение (в реальности преподаватель выставляет округленные оценки успеваемости).

Полученная средняя квадратическая погрешность, равная 0,24 и показывает, что созданная модель достаточно точно описывает реальные процессы, происходящие в системе.

Заключение. В последние годы традиционные методы искусственного интеллекта, такие как экспертные системы, нечеткие системы, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы и т.п. все чаще объединяются в гибридные интеллектуальные системы.

Гибридные интеллектуальные системы дают возможность использовать преимущества

традиционных средств искусственного интеллекта, преодолевая некоторые их недостатки, и позволяют решать задачи, проблематичные для других методов искусственного интеллекта.

Курсант ФИО	оценка критериев по десятибалльной шкале										Проверка работы системы / полученные данные	средний начальный балл (практический)	Оценка по предмету за семестр (практическая)	$(x-y)^2$
	базовые знания (средний начальный балл)	научная жизнь курсанта (от 0 до 10)	общественная жизнь курсанта (от 0 до 10)	квалификация преподавателя (ассистент-от 2 до 3, ст. преподаватель - от 4 до 5, доцент - от 7 до 8, профессор - от 9 до 10)	преподаватель (до 25 - от 1 до 3, от 26 до 35 - от 3 до 5, от 36 до 55 - от 6 до 10)	обеспечение литературой	обеспечение оборудованием	Оценка по предмету за семестр						
<i>Шатохин АВ</i>														
история	3,9	10	7	8	9	8	5	6	3,9	4,93	0,00490			
математика	3,9	8	7	10	7	6	8	6	3,9	4,69	0,09610			
химия	3,9	7	7	7	7	7	6	4	3,9	3,77	0,05290			
мат. геометрия	3,9	9	7	9	9	7	6	6	3,9	4,79	0,04410			
география	3,9	10	7	8	4	5	8	6	3,9	4,93	0,00490			
...														
ТСС	4	5	6	7	6	8	9	8	4,04	3,22	0,04840			
автоматизация судовождения	4	2	6	10	6	9	7	8	4,04	2,95	0,00250			
РНП	4	8	6	7	4	8	4	4	4,04	4,26	0,06760			
Средний балл по итогам всего обучения курсанта (по данным из журнала успеваемости)									3,333					
									полученный на практике	3,477				
									средняя квадратическая погрешность		0,24			

Рисунок 4 – Фрагмент тестирующей выборки для проверки адекватности ГИС

Приведенный в статье пример показывает результативность такого подхода, построения моделей для плохо формализованных процессов. Наличие модели позволяет проводить факторный анализ, добиваясь максимальной результативности процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лисс, А.А. Нейронные сети и нейрокомпьютеры: учеб. пособие / А.А. Лисс, М.В. Степанов. -СПб.: ГЭТУ, 1997. -64 с.
- 2 Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. -СПб.: БХВ-Петербург, 2003. - 736 с.
- 3 Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. -М.: Горячая линия-Телеком, 2007. - 288 с.
- 4 Горбань, А.Н. Обучение нейронных сетей / А.Н. Горбань. -М.: СП «ParaGraph», 1990. -160 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гибридные интеллектуальные системы, плохо формализуемые задачи, системы нечеткого вывода

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Почесуева Юлия Юрьевна, аспирант ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Левченко Наталья Георгиевна, начальник отдела ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

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

РИСКИ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского»

В.А. Смирнов, А.М. Семенов

RISKS OF MODERNIZATION AND RECONSTRUCTION OF THE ENTERPRISES FOR ROLLING STOCK REPAIR
«Omsk state transport university»
«Omsk state university named F.M. Dostoevsky»
V.A. Smirnov, A.M. Semenov

Questions of modernization and reconstruction of the enterprises for rolling stock repair are considered, the analysis and classification of risk factors is carried out, the technique of their estimation and prediction is offered.

Keywords: rolling stock repair, risks of modernization and reconstruction of the enterprises, risk estimation

Рассмотрены вопросы модернизации и реконструкции предприятий по ремонту подвижного состава, проводится анализ и классификация рискообразующих факторов, предлагается методика оценки и прогнозирования рисков.

Развитие предприятий ремонтного комплекса является важнейшим условием реализации стратегических задач железнодорожного транспорта России по наращиванию объемов перевозок, повышению качества услуг, развитию транспортных коммуникаций внутренних и международных сообщений. Современные требования, предъявляемые к эксплуатационной надежности железнодорожной техники, интенсивное обновление технических средств, внедрение оборудования, соответствующего современным мировым стандартам, требуют модернизации ремонтно-сервисной базы, организации производства на передовом техническом уровне. Производственная инфраструктура предприятия после реконструкции должна обеспечивать высокое качество ремонта при кардинальном сокращении энергетических, трудовых и материальных затрат [1, 2].

Комплексная модернизация и реконструкция производства затрагивает не только технологии, машины и оборудование, но и сопутствующие процессы: систему качества, производственную логистику, энергоснабжение, инженерные сети и сооружения, вопросы безопасности и охраны труда, производственной санитарии и экологии, что связано с существенными финансовыми затратами. Масштаб инвестиционных вложений определяется существующим состоянием основных фондов предприятия, планируемыми производственно-технологическими показателями, составом предполагаемых видов услуг, объемом производства, степенью механизации и автоматизации процессов.

Средние затраты на реконструкцию крупного ремонтного предприятия составляют от 250 млн. руб. в вагонном до 1,2 млрд. руб. в локомотивном хозяйствах. Рост проектной мощности на каждую 1000 вагонов обходится в среднем около 60-70 млн. руб. без учета затрат на проектно-изыскательские работы [3].

Под рисками инвестиционных проектов модернизации и реконструкции понимается, предполагаемое ухудшение технико-экономических показателей проекта, возникающее под влиянием неопределенности. В финансовом выражении риск определяется как изменение чистого дисконтированного дохода, срока окупаемости и внутренней нормы доходности проекта.

Факторы риска. В сложившейся практике принято выделять следующие основные виды инвестиционных рисков в промышленном секторе экономики [4]:

- недополучение прибыли в результате снижения объема реализации, повышения себестоимости продукции или по причине внешних экономических факторов;
- несоблюдение графика выполнения работ;
- превышение бюджета проекта.

С учетом функционального назначения предприятий по ремонту подвижного состава в структуре холдинговой компании ОАО «РЖД», как поддержание в технически исправном состоянии локомотивного и вагонного парка, рационально дополнительно ввести понятие *риска невыполнения корпоративных обязательств*. Проявления данного вида риска – невыполнение запланированных объемов и ухудшение качества ремонта, и как следствие, снижение результативных показателей железнодорожных перевозок и деятельности компании в целом.

Рискообразующие факторы модернизации и реконструкции предприятий ремонтного комплекса могут быть классифицированы по пяти основным группам: оборудование и технологии, проектирование и строительство, финансирование проекта, кадровое обеспечение.

Оборудование и технологии. Технические характеристики оборудования в значительной мере определяют показатели производительности труда, удельной энергоемкости, материалоемкости и себестоимости конечной продукции и, тем самым, непосредственно влияют на основные финансово-экономические показатели. Факторы риска обуславливаются в первую очередь широким спектром и высоким уровнем сложности оборудования и технологий ремонтного производства.

Более 80% всего состава оборудования относятся к категории так называемого нестандартного, изготавливаемого по индивидуальным требованиям. Данное обстоятельство обуславливает риски модернизации связанные с отсутствием оборудования, удовлетворяющего проектным требованиям (например, по степени автоматизации операций, удельным энергетическим затратам, технологической функциональности).

Разнообразие типов подвижного состава и их модификаций, обладающих существенными видовыми отличиями в составе и характеристиках оборудования, низкая степень унификации отдельных узлов и деталей на подвижном составе традиционных эксплуатируемых серий (ВЛ, ЧС, тепловозы) вызывают отсутствие серийности и по сути единичный характер

заказов на нестандартное оборудование.

Сложившаяся система поставщиков удовлетворяет спрос по основной номенклатуре традиционного технологического оборудования относительно большого масштаба внедрения (например, станочное оборудование, средства неразрушающего контроля, механизации для деповского и капитального ремонта грузовых вагонов). В локомотиворемонтном производстве (особенно при среднем и капитальном ремонте) требуется значительная номенклатура технологической оснастки, средств малой механизации и специализированных рабочих мест, потребности в которых удовлетворены сторонними производителями в среднем лишь на 30-40%. Данное обстоятельство также необходимо учитывать как ограничение возможности роста технико-экономических показателей производства.

С оборудованием и технологиями тесно связаны факторы риска нормативно-технического характера – отсутствие необходимой нормативной базы и технологической документации для внедрения новой техники и технологий, низкая степень гармонизации отечественных и зарубежных стандартов, длительный процесс согласования и внесения изменений в соответствующие документы.

Повышение уровня механизации и автоматизации ремонта подвижного состава увеличивает степень сложности применяемого оборудования, что затрудняет его обслуживание и текущий ремонт собственными силами (факторы риска эксплуатационно-сервисного характера).

Проектирование и строительство. Основная доля рисков проектирования и строительства связана с недостаточной проработкой стратегии развития предприятия, затягиванием сроков принятия решений, отсутствием квалифицированного проектного менеджмента.

Как следствие образуется дефицит времени на проведение подготовительных работ, получение исходной разрешительной документации, изучение различных вариантов технологических решений с подробным финансово-экономическим анализом, разработку и согласование проектно-сметной документации, проработку альтернативных вариантов архитектурно-строительных решений и документации на строительство, нехватка производственных ресурсов, снижение темпа и качества строительства, недостаточное внимание к вопросам энергосбережения и экологии.

Риски экологической природы приобретают для предприятий железнодорожного транспорта все большую актуальность, особенно для объектов локомотивного и вагонного хозяйства повышенной экологической опасности: промывочно-пропарочные станции цистерн, комплексы наружной очистки и окраски подвижного состава, станции реостатных испытаний тепловозов, склады твердого топлива, комплексы очистных сооружений.

Финансирование проекта. Рискообразующие факторы финансового обеспечения реконструкции и модернизации предприятий по ремонту подвижного состава преимущественно связаны с планированием и реализацией инвестиционных проектов в крупной компании с централизованной системой управления.

Из числа характерных факторов финансовых рисков можно отметить:

- сложная и длительная процедура согласования инвестиционных планов;
- высокая вероятность секвестирования бюджета проекта;
- преимущественное выделение денежных средств во второй половине финансового года, а в ряде случаев в четвертом квартале;
- несовпадение календарных графиков отдельных программ развития с требуемым графиком реализации проекта.

Кадровое обеспечение. Проблема кадрового обеспечения для предприятий железнодорожного транспорта наиболее остро проявляется в дефиците массовых рабочих профессий, связанного с их низкой привлекательностью и практически утраченной системой подготовки квалифицированных кадров производственного персонала общепромышленного профиля (токари, фрезеровщики, сварщики, крановщики, электрики). Невысокая заработная плата в целом по отрасли обуславливает конкурентные риски со стороны предприятий промышленного железнодорожного транспорта, транспортного машиностроения и других предприятий близкого технологического профиля.

Оценка рисков. Современные методики оценки рисков ориентированы на использование показателя тяжести рисков, который определяется по формуле [4, 5]

$$R = Y \cdot Q(Y), \quad (1)$$

где R – значение тяжести риска;

Y – уровень последствий;
 $Q(y)$ – уровень вероятности потерь.

Результатом качественного анализа рисков является описание неопределенностей, присущих проекту, причин, которые их вызывают, и, как результат, рисков проекта.

Ниже предлагается методика оценки инвестиционного риска модернизации и реконструкции предприятий по ремонту подвижного состава железнодорожного транспорта на основе принятых ранее основных видов проявления риска и предложенной классификации рискообразующих факторов.

Методика основана на выделении ключевых показателей, характеризующих факторы риска с последующим построением регрессионных уравнений, позволяющих делать прогнозные оценки инвестиционных рисков.

Структурная схема инвестиционного риска представлена на рисунке 1.

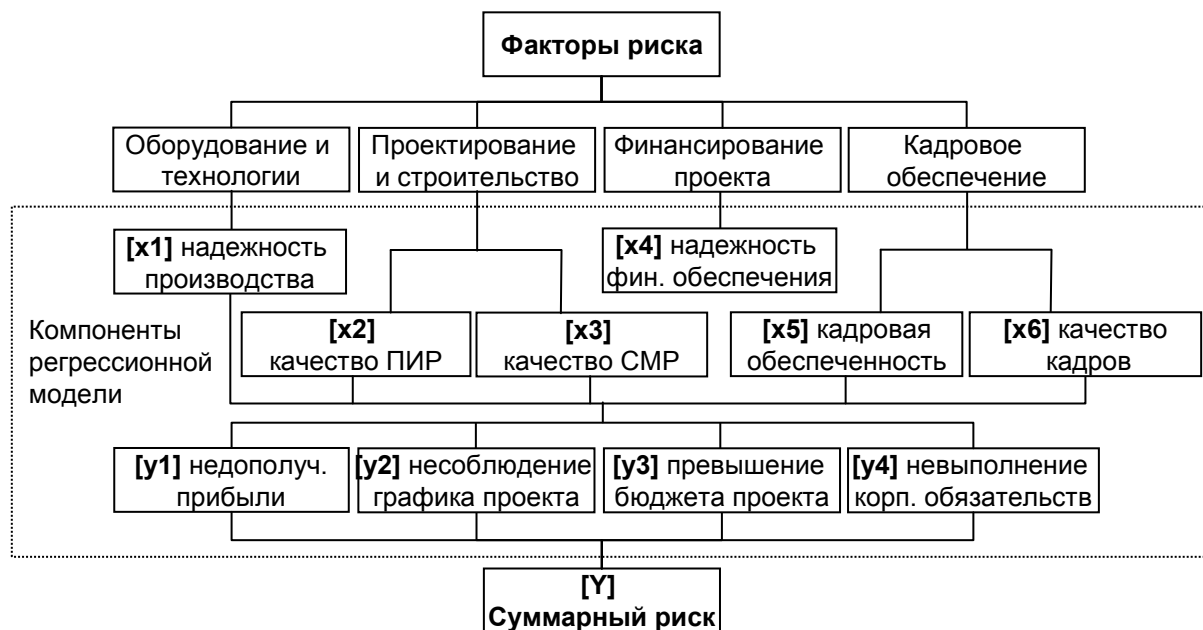


Рисунок 1 – Структурная схема риска проекта модернизации и реконструкции (y_1, \dots, y_4 -виды рисков в соответствии с предложенной ранее классификацией; x_1, \dots, x_6 -показатели, характеризующие рискообразующие факторы)

Расчетные показатели факторов риска:

1 Надежность технологического обеспечения производства (x_1) – вероятность реализации запланированных производственных показателей предприятия на данном оборудовании

$$x_1 = \sum_{i=1}^n \left[\beta_i \prod_{j=1}^m \left(\frac{a'_{ij}}{a_{ij}} \cdot \frac{r'_{ij}}{r_{ij}} \right) \right], \quad (2)$$

где a_{ij}, a'_{ij} – коэффициенты эксплуатационной готовности технологического оборудования, плановый и фактический соответственно;

r_{ij}, r'_{ij} – годовые производственные программы, выполняемые на оборудовании, в денежном выражении, плановая и фактическая соответственно. Фактическая программа определяется как средняя по всем предприятиям области;

β_i – доля производственной программы, выполняемой на оборудовании i -ой группы, в совокупном объеме производства;

n, m – количество групп основного оборудования, обеспечивающих производство различных видов конечной продукции и количество взаимозависимых единиц оборудования в составе группы соответственно.

2 Качество проектных и строительно-монтажных работ (x_2, x_3) – показывает степень ответственности объекта, его производственных и технологических показателей техническому заданию на проектирование, требованиям, установленным в технико-экономическом обосновании и бизнес-плане проекта.

Оценка качества $x_2 \in [0; 1]$ проектно-изыскательских работ производится по номенклатуре показателей Положения об оценке качества проектно-сметной документации для строительства путем сравнения с базовыми значениями, отражающими современный передовой отечественный и зарубежный опыт проектирования объектов данного класса, достижения науки и техники в области организации и технологии ремонтного производства.

Методики оценки качества $x_3 \in [0; 1]$ строительного-монтажных работ на основании результатов выборочного контроля содержатся в соответствующих нормативных документах Госстроя России (по видам объектов). В качестве критерия оценки может быть принято отношение фактического уровня дефектности объекта к базовому.

3 Надежность финансового обеспечения проекта (x_4) – характеризует своевременность финансирования проекта в соответствии с установленным графиком платежей.

Пусть плановый график поступления денежных средств характеризуется последовательностью $(t_1, c_1), (t_2, c_2), \dots, (t_n, c_n)$, где t_1, \dots, t_n и c_1, \dots, c_n – моменты поступления и размеры сумм соответственно. Момент времени $t_1 = 0$ соответствует началу проекта. Аналогичные ожидаемые показатели финансирования обозначим через $(t'_1, c'_1), (t'_2, c'_2), \dots, (t'_n, c'_n)$.

В качестве критерия оценки воспользуемся отношением ожидаемой и плановой приведенных стоимостей проекта

$$x_4 = \frac{PV(c')}{PV(c)} = \frac{\sum_{k=1}^n c'_k \cdot v_{t'_k}}{\sum_{k=1}^n c_k \cdot v_{t_k}}, \quad (3)$$

где v_t – коэффициент дисконтирования, равный

$$v_t = \frac{1}{(1+r)^t}; \quad (4)$$

r – годовая процентная ставка сравнения;

t – время в годах.

4 Обеспеченность кадрами (x_5) – показывает среднюю кадровую обеспеченность по предприятию при запуске проекта

$$x_5 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{N'_i}{N_i} \right), \quad (5)$$

где N_i, N'_i – количество сотрудников в i -ом подразделении, плановое и ожидаемое;

n – число подразделений предприятия.

5 Качество кадрового обеспечения (x_6) – показывает соответствие компетенций персонала требованиям технологического процесса производства

$$x_6 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\alpha_i \frac{RP'_i}{RP_i} \right), \quad (6)$$

где RP_i, RP'_i – плановая и ожидаемая средняя разрядность работников, занятых в i -ом технологическом процессе;

α_i – коэффициент, учитывающий важность i -ого технологического процесса в обеспечении качества ремонта и ТО (устанавливается экспертным методом). Коэффициенты α_i положительны и нормированы следующим образом

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = m;$$

m – количество видов технологических процессов.

Для количественной оценки рисков введем переменные, характеризующие относительное отклонение фактических показателей проекта от базовых (запланированных) значений

$$y_i = \frac{|Y'_i - Y_i|}{Y_i}, \quad (7)$$

где Y, Y' – базовые и ожидаемые значения показателей проекта соответственно.

В качестве Y , в соответствии с классификацией рисков, возьмем:

- недополучение прибыли (y_1) – внутренняя норма доходности проекта (Y_1);
- несоблюдение графика проекта (y_2) – время сдачи объекта в эксплуатацию (Y_2);
- превышение бюджета проекта (y_3) – сметная стоимость проекта (Y_3);
- невыполнение корпоративных обязательств (y_4) – производственная мощность предприятия (Y_4).

Используя данные о рискообразующих факторах при принятии решений о модернизации или реконструкции ремонтных предприятий и данные об отклонениях в плановых показателях их работы после реализации проекта, можно построить модель множественной регрессии для индивидуальной оценки каждого из рисков. Построение таких моделей производится стандартными эконометрическими методами, которые подробно описаны в соответствующей литературе [5].

Совокупный риск вычисляется методом сложения основных видов его проявления, представленных в денежном выражении. В дальнейшем, анализируя полученные результаты, можно выявить рискообразующие факторы, которые оказывают доминирующее влияние на уровень инвестиционного риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гапанович, В.А. Приоритеты в сфере энергосбережения и технического регулирования / В.А. Гапанович // Ж.-д. трансп. -2009. -№2.
- 2 Стратегия научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» до 2012 года («Белая книга ОАО «РЖД»).
- 3 Рынок транспортных услуг: взаимодействие и партнерство // РЖД-Партнер. -2009. -№22. -С. 21.
- 4 Гранагуров, В.М. Экономический риск: сущность, методы измерения, пути снижения / В.М. Гранагуров. -М.: Дело и Сервис, 1999. -112 с.
- 5 Эконометрика / под ред. И.И. Елисеевой. -М.: Финансы и статистика, 2004. -248 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ремонт подвижного состава, риски модернизации и реконструкции предприятий, оценка риска*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Смирнов Виктор Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Семенов Александр Михайлович, канд. физ.-мат. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
644077, г. Омск, пр. Мира, 55а, ФГБОУ ВПО «ОмГУ им. Ф.М. Достоевского»*

ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РОЛИ И ВЛИЯНИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА В РАЗВИТИИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Е.О. Выдрина

ESTIMATION AND ANALYSIS OF PART AND INFLUENCE WATER TRANSPORT FROM DEVELOPMENT OMSK REGION «Novosibirsk state academy of water transport»

E.O. Vydrina

In article the analysed foundation indexes of work water transport Omsk region from 2008-2010 years. Examined foundation tendency of development branch in region, causes of change indexes.

Keywords: transport, water, estimation, analysis, development

Проанализированы основные показатели работы водного транспорта Омской области за период с 2008-2010 гг. Рассмотрены основные тенденции развития отрасли в регионе, причины изменения показателей.

Транспортная система Омской области является составной частью производственной и социальной инфраструктуры. Она обеспечивает потребности экономики и населения в транспортных услугах.

Объектом анализа является деятельность предприятий водного транспорта Омска и Омской области. В свою очередь, рассматриваются составляющие деятельности этих предприятий – предметы и средства труда.

По данным территориального органа государственной статистики транспортную сеть Омской области в 2009 году составляли 752 км железнодорожных путей общего пользова-

ния, 12242 км автомобильных дорог с твердым покрытием, 1474 км внутренних водных судоходных путей [1].

В 2009 году в Омской области функционировали 72 крупных и средних транспортных организации и 394 малые организации с общей численностью работников 40,1 тыс. человек. По итогам финансово-хозяйственной деятельности за 2009 год организациями транспорта получена прибыль в сумме 835,6 млн. руб. Доходы от перевозок грузов и пассажиров составили 607,7 млн. руб. В сравнении с таким же показателем 2008 года доходы значительно снизились, а именно на 543,4 млн. руб. причиной снижения данного важного показателя на взгляд автора послужило явление мирового финансового кризиса.

В целом сальдированный финансовый результат организаций транспорта Омской области упал на 2888,3 млн. руб. по сравнению с 2008 г. Исходя из этого, все показатели 2009 года будут иметь значительное отрицательное отклонение. Результаты работы в 2009 году находятся на уровне между показателями 1995 г. и 2000 г. [1].

На территории Омской области функционируют и занимают ведущее место следующие транспортные организации: Омское отделение – структурное подразделение Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «Российские железные дороги», ОАО «Транссибнефть», ОАО «Иртышское пароходство», ОАО «Омский речной порт» [2].

Министр экономического развития Эльвира Набиуллина в своем прогнозе социально-экономического развития Российской Федерации на 2012 год и плановый период 2013-2014 гг. указала на рост промышленности в Омской области. Она выделила Омскую область среди других регионов, для которых будет характерна стабильная ежегодная динамика наращивания темпов производства ВРП. Данные показатели будут достигнуты за счет увеличения объемов производства в промышленности, строительстве, увеличение розничного товарооборота, услуг транспорта и связи, платных услуг населению, устойчивый рост потребительского спроса. При этом Омская область включена в число регионов, где ожидаются самые высокие темпы роста ВРП в 2012 г. и 2014 г. по сравнению с 2010 г. – на 20,3% и 48,8% соответственно [4].

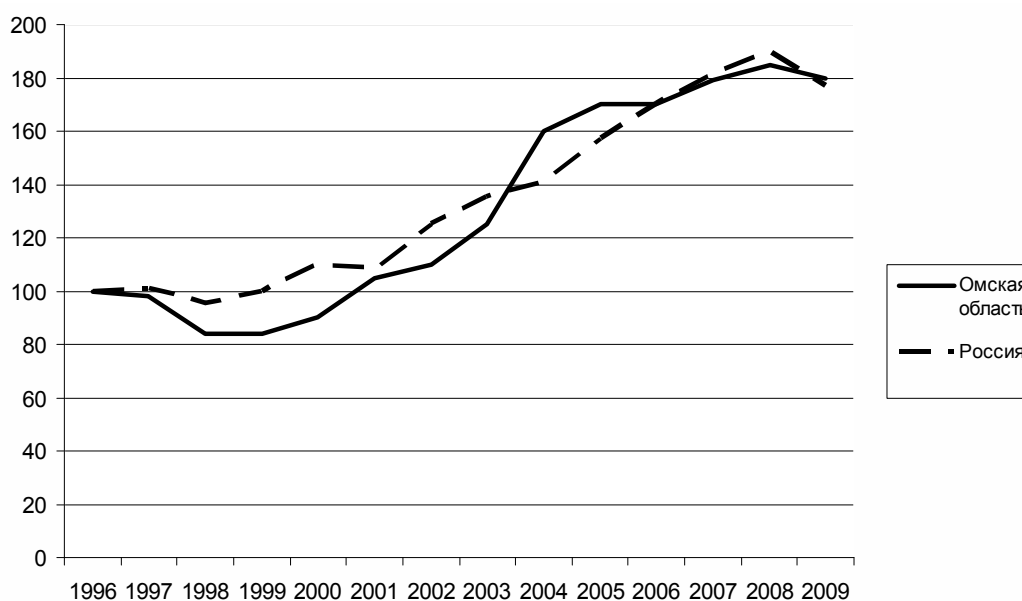


Рисунок 1 – Динамика ВРП Омской области и ВВП России с 1996-2009 гг., в процентах от уровней 1996 г. [5]

В 2009 году Омская область заняла 25 место среди регионов России по величине ВРП (2009 г. – 336191,2 млн. рублей, 2008 г. – 347760,3 млн. руб., 2007 г. – 296004,7 млн. руб., 2006 г. – 262506,7 млн. руб.) [5].

Проанализировав существующие целевые программы Омской области по развитию транспорта можно сказать, что на сегодняшний день идут работы по двум долгосрочным целевым программам, связанным с транспортной инфраструктурой региона, среди которых следующие: долгосрочная целевая программа Омской области «Развитие объектов транспортной инфраструктуры Омской области (2010-2016 годы)»; долгосрочная целевая программа Омской области «Строительство Красногорского водоподъемного гидроузла на реке

Иртыш (2010-2014 годы)» [6]. Данные целевые программы – положительный сдвиг в этой области, но необходимы и другие направления развития отрасли.

Пути сообщения Омской области круглогодично обеспечивают перевозку пассажиров и коммерческих грузов в любом сообщении, водные пути

Таблица 1 – Густота путей сообщения за период 2007-2009 гг. (на конец года; километров путей на 1000 км² территории) [3]

Виды путей сообщения	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Внутренние водные судоходные пути	10,4	10,4	10,4
Железнодорожные пути	8,0	н/д	7,9
Автомобильные дороги с твердым покрытием	84,4	90,5	86,8

только в период навигации. Но густота путей сообщения находится на довольно среднем уровне по всем видам транспорта, причем, что характерно, на водном транспорте наблюдается стабильная ситуация по данному показателю, одновременно, в сравнении, густота путей сообщения железнодорожного транспорта и так не высока, она еще и имеет тенденцию к снижению, чего нельзя сказать об автомобильных дорогах (таблица 1).

Таблица 2 характеризует развитие транспортного комплекса региона в целом.

Таблица 2 – Показатели социально-экономического развития транспортного комплекса Омской области [1]

Показатели	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
1 Эксплуатационная длина путей сообщения общего пользования, км, в том числе:				
– автомобильный	13322	15131	14989	14468
– водный	11096	12905	12763	12242
– железнодорожный	1474	1474	1474	1474
– железнодородный	752	752	752	752
2 Средняя себестоимость грузов, руб. за 10 ткм	4,2	4,8	5,5	6,3
3 Производительность труда, тыс. руб./человек	256,32	264,5	462,1	274,7
4 Численность занятых трудовых ресурсов, тыс. чел, в том числе:				
– автомобильный	32	31,4	31,7	29,3
– водный	17,1	16,6	17,0	15,7
– железнодородный	2,7	2,6	2,4	2,1
– железнодородный	12,2	12,2	12,3	11,5

Анализируя стоимостные показатели, не следует забывать об инфляционной составляющей роста. Исходя из этого, нельзя на сто процентов опираться на данные в денежном выражении. Поэтому при проведении анализа автор предлагает изучить подобные показатели в натуральном выражении. И в совокупности стоимостных и натуральных показателей анализ будет носить достоверный характер. Также недостатком является при использовании статистической информации – усредненные значения. На взгляд автора данное обстоятельство достаточно сильно может исказить истинные явления

Таблица 3 – Производительность труда на грузовых перевозках по видам транспорта, ткм/чел.

Вид транспорта	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Автомобильный	24094	29337	25529	16433
Водный	529259	534615	1836250	590952
Железнодорожный	6777951	9861230	7363374	6873826

Основанием является тот факт, что грузооборот можно отождествить с доходом от перевозки грузов, но в натуральном выражении. Таким образом, из таблицы 3 и 4 видно, что производительность труда на водном транспорте достигла своего апогея в 2008 году только за счет увеличения грузооборота, достаточно весомое увеличение численности в 2008 году в сравнении с 2007 годом в меньшей степени смогло отразиться на величину произведенной продукции на одного работника.

Также за период с 2008-2009 гг. упали значения перевозок водным транспортом Омской области, в том числе и по жизненно необходимым грузам, например, таким как топливо в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности. Наблюдается колоссальное сниже-

Таблица 4 – Динамика перевозок предприятий водного транспорта за период 2007-2010 гг.

Показатель	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Количество перевозок, тыс. т	2500	2990	842	1413
Грузооборот, млн. ткм	1390	4407	1241	2083

ние темпов роста объемов перевозки грузов – оно составило по данным на 2008 г. – (-545,9%), а 2009 г. (-216,2%), тогда как данный показатель в 2007 году составлял всего (+6,3%).

Таблица 5 – Перевозки грузов внутренним водным транспортом в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности

Показатели	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Перевезено, тыс. т. в том числе:	887,9	947,5	146,7	46,4
– сухогрузов	327,6	429,0	58,7	25,3
– наливных грузов	560,3	518,5	88,0	21,1
Темп роста объемов грузов, % к предыдущему году, в том числе	н/д	6,3	-545,9	-216,2
– сухогрузов	н/д	23,6	-630,8	-132,0
– наливных грузов	н/д	-0,08	-489,2	-317,1

Таким образом, транспортный комплекс Омской области занимает важное место в совокупности отраслей региона. Исходя из статистических данных, данных отчетности наиболее крупных предприятий отрасли, можно сказать, что в среднем темп развития ее достаточно высок, если не брать во внимание период, так называемого мирового финансового кризиса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Транспорт и связь Омской области: стат. сб. / Омскстат. -Омск, 2008-2010.
- 2 Основные показатели деятельности крупных и средних организаций транспорта и связи: экспресс-информ. / Омскстат. - Омск, 2011.
- 3 Ежегодник, 2009: стат. сб. / Омскстат. -Омск, 2010.
- 4 Москва прогнозирует рост промышленности в Омском Прииртышье [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://www.omskzdes.ru>. -27.09.2011 г.
- 5 Динамика ВРП Омской области и ВВП России с 1996-2009 годы, в процентах от уровней 1996 года [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://ru.wikipedia.org>.
- 6 Долгосрочные целевые программы [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://mpp.omskportal.ru>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспорт, водный, оценка, анализ, развитие
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Выдрин Евгений Олегович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА ИНТЕГРАЦИИ ТРАНССИБИРСКОЙ И ТРАНСКОРЕЙСКОЙ МАГИСТРАЛЕЙ

ФБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.Г. Куречка

EFFICIENCY EVALUATION OF TRANS-SIBERIAN AND TRANS-KOREAN RAILWAYS INTEGRATION PROJECT
 «Siberian state transport university»
 A.G. Kurechka

The role of Russia in the international transit cargo transportation between Europe and Asia is defined. An approach to the evaluation of Trans-Siberian and Trans-Korean railways integration project is proposed.

Keywords: international trade, transit traffic, Trans-Siberian railway, Trans-Korean railway, large-scale railway project

Определена роль России в международных транзитных грузоперевозках между Европой и Азией. Предложен подход к оценке реализации проекта интеграции Транссибирской и Транскорейской магистралей.

Тенденции развития мировой экономики позволяют сказать, что основные грузопотоки происходят между странами Западной Европы (45% мировой торговли), Азии (25% мировой торговли) и Северной Америки (20% мировой торговли), при этом важное место принадлежит России с ее уникальным географическим положением (между двумя динамично развивающимися регионами мира – Европой и Восточной Азией), мощной сырьевой базой, огромной территорией, имеющимися научно-техническим и военным потенциалами.

Увеличивается значимость Сибири и российского Дальнего Востока как контактных зон по обеспечению внешнеэкономического, культурного и других видов сотрудничества. В силу особенностей своего евразийского геостратегического положения и ресурсообеспеченности данные регионы России располагают потенциальными возможностями привлечения капита-

ла и крупнейших грузопотоков не только Запада, но и азиатского Востока. Использование этих возможностей находится в сфере стратегических экономических интересов России на долгосрочную перспективу, что требует ускоренного развития экономического и демографического потенциалов сибирских и дальневосточных территорий России в целом, технической, технологической модернизации производства, увеличения мощностей портово-железнодорожных комплексов, обеспечивающих транзитные международные грузоперевозки и создание на Тихоокеанском побережье России крупных центров внешнеэкономического сотрудничества.

Формирование и развитие международных транспортных коридоров на территории России определяется обеспечением крупных международных транзитных перевозок в сообщениях между Европой и Азией и для этого Россия должна активно развивать международную деятельность для повышения уровня конкурентоспособности страны. Особая значимость заключается в использовании главного геостратегического ресурса – Транссибирской магистрали, которая позволит ускорить доставку грузов по маршруту «Азия-Европа-Азия». На востоке, в направлении пограничных станций Хасан, Гродеково, Забайкальск, Наушки Транссиб обеспечивает выход на сеть железных дорог КНДР, Китая и Монголии, а на западе, через российские порты и пограничные переходы с бывшими республиками Советского Союза - в европейские страны. При этом, одно из приоритетных направлений политики России связано с реализацией проекта интеграции Транссибирской железнодорожной магистрали с Транскорейской магистралью.

Многоаспектный характер достигаемых эффектов от реализации проекта интеграции Транссибирской и Транскорейской магистралей позволяет говорить о необходимости учета геополитического, экономического, социального, военно-стратегического аспектов при последующей целевой структуризации и построения дерева целей проекта. При оценке ожидаемой эффективности проекта интеграции Транссибирской и Транскорейской магистралей была проведена структуризация проблемы отражающая специфику проекта (таблица 1).

Таблица 1 – Элементы структуризации оценки проекта интеграции Транссибирской и Транскорейской железнодорожных магистралей

Уровень при оценке эффективности		Краткое представление уровня	Описание элементов
для достижения генеральной цели	для участника проекта		
0		Генеральная цель	Уровень отражает генеральную цель проекта общую для всех участников
I	0	Участники проекта (p)	Перечень групп участников проекта, которые имеют разную степень влияния на осуществление проекта и различный состав собственных целей и задач достигаемых от реализации проекта
II	I	Подцели (t)	Различные подцели проекта стоящие у отдельных групп участников
III	II	Задачи (z)	Решаемые задачи отдельными группами участников проекта с привязкой к соответствующим подцелям
IV	III	Альтернативы (i)	Альтернативные варианты проекта с различным уровнем значимости для отдельных задач

Далее была сформирована оценочная матрица, которая отражает интегральную эффективность альтернативного варианта проекта в условиях реализации одного из сценариев (таблица 2).

Сформированная матрица u_{ij} даёт возможность лицу, принимающему решение, проанализировать и сопоставить управляемые альтернативы $x_i \in X'$ ($i = 1, \dots, n$), используя различные критерии, выбор которых определяется конкретными условиями оценки крупномасштабных инвестиционных проектов, в частности проекта интеграции Транссибирской и Транскорейской железнодорожных магистралей.

Проведя анализ возможных подходов для определения эффективности глобальных инвестиционных проектов в условиях неопределенности, предлагается методический подход осуществления и оценки реализации проекта интеграции Транскорейской и Транссибирской

железнодорожных магистралей, который позволяет определить процесс его осуществления (рисунок).

Таблица 2 – Оценочная матрица взаимодействия «вариант инвестиционного проекта (альтернатива)-сценарий внешней среды»

$x'_i = X'$		$x''_j \in X''$				
		Сценарии				
		x''_1	...	x''_j	...	x''_m
Альтернативы	x'_1	u_{11}	...	u_{1j}	...	u_{1m}

	x'_i	u_{i1}	...	u_{ij}	...	u_{im}

	x'_n	u_{n1}	...	u_{ni}	...	u_{nm}



Рисунок – Схема методического подхода к разработке и оценке альтернативных вариантов проекта интеграции Транссибирской и Транскорейской магистралей

Данный подход позволяет определить место рассматриваемого проекта в мировой транспортной системе, оценить конкурентную среду, в которой определяется его функционирование, и при ее изменении адекватно реагировать странам-участникам (преимущественно России, Республики Корея, КНДР) для сохранения и укрепления своих экономических и политических позиций не только на мировом транспортном рынке, но в целом в азиатско-тихоокеанском регионе. Однако отметим, что не существует единой методики для исполнения всех проектов, поэтому каждый конкретный проект должен определить свою собственную методику, учитывая преимущественно политическую, социально-экономическую ситуацию в регионе его функционирования. Предложенный методический подход, не смотря на то, что носит общий характер, может быть конкретизирован для любого проекта, с учетом направлений его деятельности.

Применяя приведенную методику для оценки проекта и основываясь на анализе проблем интеграции магистралей было выявлено, что задача сводится к оценке предпочтительности в реализации возможных вариантов проекта. Приоритетность реализации отдельных маршрутов выхода Транскорейской магистрали на Транссиб во многом зависит от конкретных целей и задач участников проекта, то есть тех стран которые попадают либо в сферу влияния проекта, либо напрямую в нем задействованных (преимущественно Россия, страны Восточной и Юго-Восточной Азии, США, Европейский союз).

Таблица 3 – Структуризация системы «цели-задачи»

Цель	Задачи
0.1 Страны Восточной и Юго-Восточной Азии	<i>0.1.1 Экономические задачи</i>
	0.1.1.1 Развить транспортную инфраструктуру способную обеспечить надежную работу развивающейся экономики стран
	0.1.1.2 Ускорить сроки транспортировки трансевразийских грузов
	0.1.1.3 Сократить транспортные издержки на перевозку грузов
	0.1.1.4 Диверсифицировать транспортные коридоры, увеличивая конкуренцию операторов
	<i>0.1.2 Политические задачи</i>
0.2 Россия	0.1.2.1 Решить политические конфликты на Корейском полуострове
	0.1.2.2 Повысить роль стран в региональной политике
	<i>0.2.1 Экономические задачи</i>
	0.2.1.1 Сформировать точки экономического роста регионов Сибири и Дальнего Востока
	0.2.1.2 Повысить конкурентоспособность экспортной продукции промышленных предприятий Сибири и Дальнего Востока за счет сокращения транспортных расходов
	0.2.1.3 Обеспечить дополнительный доход от экспорта транспортных услуг по перевозке транзитных грузов
	<i>0.2.2 Социальные задачи</i>
	0.2.2.1 Обеспечить заселение территорий Сибири и Дальнего Востока
	0.2.2.2 Повысить благосостояние население за счет обеспечения занятости населения
	<i>0.2.3 Политические задачи</i>
	0.2.3.1 Усилить роль России как евроазиатской державы
	0.2.3.2 Повысить региональный политический вес России
<i>0.2.4 Военно-стратегические задачи</i>	
0.2.4.1 Защитить территориальную целостность России от этнической экспансии со стороны Китая	
0.2.4.2 Недопустить военных конфликтов вблизи восточных границ страны	
0.3 США и Европейский союз	<i>0.3.1 Экономические задачи</i>
	0.3.1.1 Ускорить сроки транспортировки трансевразийских грузов
	0.3.1.2 Обеспечить безопасность транспортировки трансевразийских грузов
	0.3.1.3 Сократить транспортные издержки на перевозку грузов
	<i>0.3.2 Политические задачи</i>
	0.3.2.1 Решить политические конфликты на Корейском полуострове
0.3.2.2 Проложить транспортный коридор в обход территории России	

Детализация целей основных участников была проведена путем структуризации системы «цели-задачи», и представляет собой определение конкретных задач, решение которых в разной степени возможно путем реализации рассматриваемого проекта (таблица 3). В ре-

в результате такой структуризации проблемы реализации проекта сформировано дерево целей и на этой основе подготовлена анкета для работы с экспертами путем личного интервьюирования. Для более детального анализа предложено три возможных сценария развития внешней среды проекта, которые отражают ее оптимистический вариант развития, пессимистический и наиболее вероятный принимаемый за базовый и описаны слои сценариев, отражающие ситуацию на всех уровнях. При этом оценка альтернативных вариантов и отдельных элементов дерева целей была произведена для каждого из сценариев развития внешней среды проекта.

Полученные результаты исследования по оценке эффективности реализации проекта интеграции Транссибирской и Транскорейской магистралей позволяют говорить о предпочтительности реализации не альтернативных, а взаимодополняющих вариантов проекта. Такого рода подход способен дать более эффективный импульс для социально-экономического развития стран-участниц за счет более низких тарифов на железнодорожные перевозки как внутри региона, так и по направлению к европейским потребителям, что во многом обеспечивалось бы за счет конкуренции перевозчиков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: международная торговля, транзитные перевозки, Транссибирская магистраль, Транскорейская магистраль, крупномасштабный железнодорожный проект
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Куречка Алина Геннадьевна, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ МАРШРУТА ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ВНЕШНЕТОРГОВОГО ГРУЗА

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

А.А. Банщикова

METHOD OF ESTIMATION OF QUALITY OF WORK OF ROUTE OF MOTION OF FOREIGN TRADE LOAD
«Zabaikalsky railway transport institute, branch «Irkutsk state transport university»
A.A. Banshchikova

The method of estimation of quality of work of route of motion of foreign trade load is resulted on the basis of information about the term of delivery, distance of route, the masses of load.

Keywords: foreign trade load, route of motion, estimation of quality of work

Приведена методика оценки качества работы маршрута по перемещению внешнеторгового груза на основе данных о сроке доставки, расстоянии маршрута, массы груза.

Движение груза из мест производства в места потребления может осуществляться по разным маршрутам. Предпочтения грузовладельцев при их выборе довольно разнообразны. Однако при оценке качества работы F_i маршрутов по перемещению внешнеторгового груза, чаще всего, называются параметры стоимости перевозки C , надежности P и срока доставки T [1]

$$F_i = (C, P, T),$$

где $C \rightarrow \min$; $P \rightarrow \max$; $T \rightarrow \min$.

В последнее время приоритетными являются – гарантированный срок доставки и эксплуатационная надежность работы маршрута, которая определяется как вероятность переработки грузов в размере не менее заданной величины, при учете пропускной способности и прогнозируемых размеров грузопотока [2].

Для выявления причин изменения объема следования внешнеторгового груза по маршрутам и разработки универсального параметра по оценке качества их работы, который бы учитывал взаимосвязь срока доставки и эксплуатационной надежности примем некоторые определения. Пропускная способность маршрута - максимальная масса материального потока m , которая может быть пропущена по его элементам в единицу времени. В зависимости от целей расчета m может измеряться в количестве тонн груза, контейнеров, вагонов, поездов. Пропускная способность маршрута характеризует мощность.

Для определения мощности рассмотрим математическую модель следования матери-

ального потока. Воспользуемся вторым законом Ньютона, в соответствии с которым произведение массы потока на ускорение его движения равно приложенной силе [3]

$$F = ma,$$

где F – сила, реализующая необходимость перемещать товар из мест производства в места потребления.

Поток в процессе доставки испытывает воздействие силы F_{TP} , препятствующей его перемещению (сложность технологической основы, взаимодействие и работа смежных служб и ведомств при организации движения внешнеторгового груза, несовершенство системы технических элементов). Для движения необходимо, чтобы

$$F \geq F_{TP}.$$

При пропуске материального потока маршрут выполняет определенную работу

$$A = FS,$$

где S – длина маршрута, км.

Технология работы предусматривает равномерное обслуживание потока, поэтому

$$S = vT,$$

где v – скорость движения по маршруту, км/сутки;

T – срок доставки, суток.

Тогда,

$$A = FvT.$$

Для характеристики того, какую работу совершает маршрут по перемещению материального потока в единицу времени, введем величину – мощность

$$N = \frac{A}{T} = \frac{FvT}{T} = Fv = \frac{mS}{T^2} \cdot \frac{S}{T} = \frac{mS^2}{T^3}.$$

При наличии простой исходной информации (масса материального потока, расстояние маршрута, срок доставки) полученный показатель позволяет сравнить качество работы маршрутов по пропуску и выбрать тот, где мощность, а, следовательно, эксплуатационная надежность выше.

Сравним параметры маршрутов при доставке транзитного груза в крупнотоннажном контейнере в составе ускоренного контейнерного поезда, следующего в направлении Дальянь (КНР)-Хельсинки (Финляндия) по трем вариантам: транзитом по территории РФ, Казахстана и Монголии.

Наименьшая протяженность маршрутов по территории РФ по Транссибирской магистрали (ТСМ) через железнодорожный пункт пропуска Маньчжурия-Забайкальск обеспечивает минимальный срок доставки, соответственно стоимость грузовой массы, а также самую высокую мощность маршрута. В отличие от казахстанского и монгольского маршрутов, где нормативные сроки доставки соответственно 18 и 19 суток. Первый вариант, вероятнее всего, будет выбран грузовладельцем.

Но одна из проблем перевозок по ТСМ – нестабильность сроков доставки грузов [4]. По данному маршруту, зачастую, нормативный срок обеспечивается в ходе экспериментальных рейсов, на практике он больше нормативного на одни-двое суток (неблагоприятный вариант), иногда достигает увеличения от нормативного на трое-четверо и более суток (абсолютно неприемлемый вариант). Для грузовладельцев наиболее предпочтителен был бы желательный вариант срока доставки, который, как правило, меньше нормативного на одни сутки. Основные характеристики маршрута по ТСМ при разных вариантах срока доставки приведены в таблице.

Таблица – Основные характеристики маршрута по территории РФ при негарантированном сроке доставки

Маршрут	Срок доставки, суток	Стоимость грузовой массы*, тыс. руб.	Мощность маршрута, контейнеров/сутки
Желательный	14	2280,57	28971
Нормативный	15	2287,34	23554
Неблагоприятный	17	2300,87	16181
Абсолютно неприемлемый	18	2307,64	13631

*-курс доллара для расчета стоимости грузовой массы равен 31,336 руб. на 22.10.2011 г.

При увеличении срока доставки происходит рост стоимости грузовой массы. При неблагоприятных условиях

гоприятном варианте он составляет около одного процента. Данное изменение нельзя назвать критичным при условии, если у грузовладельца невелик объем партии груза. В то же время мощность маршрута уменьшается значительно: при неблагоприятном варианте – падает на 31%, при абсолютно неприемлемом – на 42%.

При сроке доставки контейнера в 18 суток по маршрутам через территорию РФ по ТСМ и альтернативному с участием транспортной системы Казахстана, мощность последнего выше на 21% (2914 контейнеров/сутки), даже при большей длине маршрута (на 907 км). Полученный результат очевиден, так как работа по перемещению материального потока за один и тот же период времени совершается больше на казахстанском направлении.

По мнению многих экспертов [5] на маршрутах по территории РФ, особенно их части в восточных регионах страны, низок уровень предложений транспортно-логистических услуг и технологий, соответствующих международным стандартам, существуют длительные задержки при прохождении грузов через государственную границу, наблюдается дефицит складских помещений и нехватка квалифицированных специалистов. Это ведет к возникновению заторов при движении, увеличивается срок доставки, снижается мощность, что неминуемо отражается на эксплуатационной надежности. Теряется главное конкурентное преимущество российских маршрутов. При наличии альтернативы грузопоток направится по пути наименьшего сопротивления.

Полученный показатель позволяет на первоначальном этапе выявить причины изменения объема внешнеторгового грузопотока на том или ином маршруте с точки зрения оценки их качества работы грузовладельцами. В дальнейшем требуется более детальный анализ по выявлению «узких мест» и их устранению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Резер, С.М. Международные транспортные коридоры: проблемы формирования и развития / С.М. Резер, Т.А. Прокофьева, С.С. Гончаренко. -М.: ВНИТИ РАН, 2010. -312 с.: ил.
- 2 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: учеб. для вузов / П.С. Грунтов [и др.]; под ред. П.С. Грунтова. -М.: Транспорт, 1994. -543 с.
- 3 Геворкян, Р.Г. Курс общей физики: учеб. пособие для втузов / Р.Г. Геворкян, В.В. Шепель. -Изд. 3-е перераб. -М.: Высш. шк., 1972. -438 с.
- 4 Паршина, Р.Н. Логистика транссибирских контейнерных перевозок / Р.Н. Паршина. -М.: ВНИТИ РАН, 2008. -420 с.: ил.
- 5 Логистические транспортно-грузовые системы: учеб. для студентов высш. учеб. заведений / В.И. Апатцев [и др.]; под ред. В.М. Николашина. -М.: Академия, 2003. -304 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *внешнеторговый груз, маршрут движения, оценка качества работы*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Банщикова Анна Анатольевна аспирант ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК СИБИРИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.Д. Верескун, В.С. Воробьев, М.В. Пак

STRATEGIC ANALYSIS AND EFFICIENCY ESTIMATION OF CARGO TRAFFIC DEVELOPMENT IN SIBERIA REGION
«Siberian state transport university»
V.D. Vereskun, V.S. Vorobyev, M.V. Park

Strategic courses of Siberian transport cluster development are analyzed in indefinite conditions, efficiency estimation of transport corridor construction Novosibirsk-Urumchi (China) is done.

Keywords: transport cluster, indefinite conditions, matrix estimation, efficiency estimation, transport corridor

Проанализированы стратегические сценарии развития транспортного кластера Сибири в условиях неопределенности, произведена оценка эффективности строительства транспортного коридора Новосибирск-Урумчи (КНР).

Сегодня наряду с понятием «политранспортная система», активно используется более широкое понятие «транспортный кластер» (ТК), который представляет собой часть транспортной сети России с меняющимися границами в зависимости от экономических и политических факторов с транспортным центром, координирующим товаро- и пассажиродвижение на основе информационных технологий.

Стратегия социально-экономического развития Новосибирской области на период до 2025 г. [1] предполагает формирование федерально-федерального ТК, федерально-регионального ТК, федерально-муниципального ТК с тремя соответствующими сценариями развития:

Сценарий 1 – «Север-Юг», «Запад-Восток»+Китай+Казахстан;

Сценарий 2 – «Север-Юг», «Запад-Восток»+Казахстан;

Сценарий 3 – «Север-Юг», «Запад-Восток».

Однако, детальной проработки и оценки эффективности названных сценариев до настоящего времени не выполнено.

Для выявления наиболее перспективного сценария нами разработана модель инвестирования данных сценариев по трем вариантам: по сценарию 1 – 110 млрд. руб., по сценарию 2 – 100 млрд. руб., по сценарию 3 – 95 млрд. руб. (таблица 1) с нормами дисконта 21%, 16%, 12%, 6% и проанализированы оценочные матрицы вышеперечисленных сценариев в условиях неопределенности по критериям Лапласа, Гурвица, Байеса (таблицы 2-4) [2].

Таблица 1 – Модель инвестирования в трех альтернативных вариантах (в млрд. руб.)

Периоды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Годы	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Сценарий 1	-20	-40	-40	-10	20	30	40	50	50	200
Сценарий 2	-10	-40	-30	-20	25	25	35	60	60	150
Сценарий 3	-15	-35	-35	-10	10	30	40	60	60	150
Цикл	Инвестиционно-строительный				Эксплуатационный					

Таблица 2 – Оценочная матрица по критерию Лапласа

Сценарии		Уровни j нормы дисконта				$\frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 a_{ij}$
		$r_4 = 21\%$	$r_3 = 16\%$	$r_2 = 12\%$	$r_1 = 6\%$	
ЧДД млрд. руб.	I	6,312	31,607	62,691	139,367	59,994
	II	31,611	34,016	61,97	130,435	64,508
	III	9,373	32,421	60,871	129,533	58,05

Таблица 3 – Оценочная матрица по критерию Гурвица

Сценарии		Уровни j нормы дисконта				$\min_j a_{ij}$	$\max_j a_{ij}$	$\frac{2}{3} \min_j a_{ij} + \frac{1}{3} \max_j a_{ij}$
		$r_4 = 21\%$	$r_3 = 16\%$	$r_2 = 12\%$	$r_1 = 6\%$			
I		6,312	31,607	62,691	139,367			
II		31,611	34,016	61,97	130,435	31,611	130,435	64,552
III		9,373	32,421	60,871	129,533	9,373	129,533	49,426

Таблица 4 – Оценочная матрица по критерию Байеса

Сценарии		Уровни j нормы дисконта				$\sum_{j=1}^4 p_j a_{ij}$
		$r_4 = 21\%$	$r_3 = 16\%$	$r_2 = 12\%$	$r_1 = 6\%$	
ЧДД, млрд. руб.	I	6,312	31,607	62,691	139,367	86,066
	II	31,611	34,016	61,97	130,435	84,781
	III	9,373	32,421	60,871	129,533	81,517
Вероятность, p_j		0,1	0,3	0,1	0,5	–

Результаты произведенных расчетов показали, что Сценарий 2 является доминирующим, направленный на создание федерально-регионального ТК.

Анализ грузоперевозок в Новосибирском мультимодальном транспортном узле позволил сформировать критериальную оценочную матрицу доминирования стратегии создания транспортного кластера, которая выявила неоднозначность существующих оценочных схем и позволила обосновать целесообразность применения метода радикальной неопределенности.

Вместе с тем, Сценарий 1 («Север-Юг, Запад-Восток»+Китай+Казахстан) был взят за основу, поскольку именно он охватывает как федеральный, так и региональный уровни развития политранспортной системы СФО. В ходе оценки предложено два варианта реализации Сценария 1:

– I вариант базовый (опорные пункты на станциях Новосибирск и Урумчи);

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

– II вариант альтернативный (опорные пункты на станциях Веселоярск, Новосибирск, Урумчи).

Рассмотрен маршрут для перевозок: Урумчи (КНР)-Бахты (Казахстан)-Веселоярск (Алтайский край)-Барнаул-Новосибирск (924 км).

На основании преysкуранта №10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами» (ч.1, ч.2) [3, 4] был произведен расчет рентабельности базового и альтернативного вариантов развития маршрутного направления (таблицы 5-7).

Таблица 5 – Объем перевозок (млн. т) и тарифная плата за транзит (млрд. руб.)

Годы/периоды	I вариант		II вариант	
	млн. т	млрд. руб.	млн. т	млрд. руб.
2020/11	10	2,5648	10	2,5648
2019/10	9	2,30832	10	2,5648
2018/9	8	2,05184	10	2,5648
2017/8	–	–	8	2,05184
2016/7	–	–	7	1,79536
2015/6	–	–	1,0(ВЭ)	0,25648×5=1,2824
Всего	27	6,92496	46	12,824

Одна из главных задач организации ввода дороги в эксплуатацию состоит в планировании такой схемы ввода, чтобы обеспечить начало ее эксплуатации (по участкам и по линии в целом) задолго до полного завершения. Такая задача решается путем организации этапного ввода дороги [5]. Возможны следующие этапы ввода, допускающие обслуживание клиентами:

- во временную эксплуатацию (ВЭ);
- по пусковому комплексу (ПК);
- ввод в постоянную эксплуатацию на полную проектную мощность (ПЭ).

Таблица 6 – Тарифная плата (руб.) за перевозку 1 вагона груза (50 т) и за 1 млн. т грузов

Расстояние, км	Тарифные схемы			Плата с поправочным коэффициентом (руб.)	Плата за перевозку 1 млн. т грузов, млн. руб.		
	№И1	№В	№И1+В		ПЭ	ПК	ВЭ
100	3278	766	4044	3721	74,42	111,63	372,1
120	3500	780	4280	3938	78,76	118,14	393,8
160 (150)	3880	805	4685	4311	86,22	129,33	431,1
200 (180)	4560	834	5394	4962	99,24	148,86	496,2
300	5345	897	6242	5743	114,86	172,29	574,3
340	5800	925	6725	6187	123,74	185,61	618,7
420	6630	980	7610	7002	140,04	210,06	700,2
450	6890	995	7885	7255	145,1	217,65	725,5
520	7510	1034	8544	7861	157,22	235,83	786,1

Таблица 7 – Сравнение вариантов по общей выручке в млн. руб.

Показатели	I вариант	II вариант	Разница
Плата за транзитные перевозки	6924,96	12824	5899,04
Плата за местные перевозки	7407,18	14819,52	7412,34
В сумме	14332,14	27,643,52	13311,38

Грузопотоки разделим на транзитные и местные. Транзит становится возможным с открытием сквозного движения поездов начиная с этапа ввода дороги во временную эксплуатацию (ВЭ). Из таблицы 8 понятно, что такая возможность открывается начиная с 6 (2015) года (альтернативный вариант). В последующие годы перевозки возрастут. К местным перевозкам отнесем все остальные перевозки, которые зарождаются либо гасятся на протяжении рассматриваемой дороги.

Исследования эффективности альтернативного варианта создания нового транспортно-коридора (железнодорожной и автомобильной дорог) на маршруте перевозок Урумчи (КНР)-Бахты (Казахстан)-Веселоярск (Алтайский край)-Барнаул-Новосибирск показали предпочтительность варианта организации развития транспортного коридора по 4-х лучевой схеме: Урумчи

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

- Бахты (300 км), Веселоярск-Бахты (215 км), Веселоярск-Барнаул (214 км), Новосибирск-Барнаул (195 км), позволяющего увеличить выручку от транзитных перевозок на 5899,04 млн. руб. или в 1,9 раза, от местных перевозок на 7412,34 млн. руб. или в 2 раза, суммарную выручку в 13311,38 млн. руб. Эффект сопоставим со стоимостью создания 104 км новой дороги при ее километровой стоимости 128 млн. руб.

Таблица 8 – Этапы ввода железной дороги в эксплуатацию и объемы перевозок по II варианту (млн. т)

Годы/периоды	Урумчи	Бахты		Веселоярск		Барнаул		Новосибирск	
2020/11	10+5	10+5	10+5	10+5	10+3,5	10+2,5	10+2,0	10+2,5	10 транзит
2019/10	10+5	10+5	10+5	10+5	10+3,5	10+2,5	10+2,0	10+2,5	10 транзит
2018/9	10+5	10+5	10+5	10+3,5	10+4	10+3	10+1,5	10+2,5	10 транзит
2017/8	← 5,0+8,0								8 транзит
2016/7	← 4,0+7,0								7 транзит
2015/6	← 3,5+1,0	← 1,0*	↔ 0,5+1,0*						1 транзит
2014/5	← 3,0								
2013/4	← 2,0*								
2012/3									
2011/2									
2010/1									

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Стратегия социально-экономического развития Новосибирской области на период до 2025 года [Электронный ресурс]: офиц. сайт Администрации НСО. -Режим доступа: www.adm.nso.ru.
- 2 Комаров, К.Л. Новосибирский транспортно-логистический кластер и оценка стратегий его формирования / К.Л. Комаров, Е.Б. Кибалов // Регион: экономика и социология. -2007. -№3. -С. 42-54.
- 3 Прейскурант №10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами. Тарифное руководство №1. Ч.I. Правила применения тарифов [Электронный ресурс]. -Режим доступа: www.doc.rzd.ru.
- 4 Прейскурант №10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами. Тарифное руководство №1. Ч.II. Расчетные таблицы плат за перевозку грузов [Электронный ресурс]. -Режим доступа: www.doc.rzd.ru.
- 5 Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений: СНиП 1.04.03-85. -Утв. Госстроем СССР и Госпланом СССР 17.04.85; взамен СН 440-79; введ. в действие 01-08-1985. -Изд. офиц. -М.: Стройиздат, 1987. -551 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортный кластер, критерии неопределенности, оценочная матрица, оценка эффективности, транспортный коридор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Верескун Владимир Дмитриевич, докт. техн. наук, ректор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Воробьев Валерий Степанович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Пак Мария Викторовна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ПРОБЛЕМЫ ВОЗМЕЩЕНИЯ ЗАТРАТ ПЕРЕВОЗЧИКОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Т.А. Лунина

ISSUES OF REIMBURSEMENT OF EXPENSES FOR CARRIERS UNDER SUBURBAN TRANSPORTATION MANAGEMENT
«Siberian state transport university»
T.A. Lunina

The state regulation of tariffs being the principal source of suburban companies' earnings shouldn't cause losses otherwise the companies will have to take retaliatory measures for their cost optimization comprising reduction of trains' movement rate and number of rail-way cars or even operation decrease at particular railway sections.

Keywords: reimbursement of expenses, suburban transportation, state regulation of tariffs, cost optimization, transparency, multiple-unit train

Государственное регулирование тарифов, как основного источника заработка пригородных компаний, не должно происходить им в ущерб, поскольку в противном случае компаниям придется принимать ответные меры по оптимизации своих расходов, сокращая частоту движения поездов, число вагонов или вовсе прекращая работу на определенных участках.

В апреле 2008 года правлением ОАО «РЖД» была одобрена «Программа развития пригородного пассажирского комплекса ОАО «РЖД» до 2015 года», которая определила стратегические цели и основные направления развития пассажирского комплекса пригородного сообщения ОАО «РЖД», а также объемы и источники инвестиций на среднесрочную перспективу. В настоящее время реформа железнодорожных пригородных перевозок вступила в завершающую стадию. В 2011 году ОАО «Российские железные дороги» завершает создание региональных управляющих компаний, передает им электропоезда и переводит пригородные перевозки на самоокупаемость.

Не все пригородные пассажирские компании (ППК) создаются при участии субъектов РФ (например, Северная и Калининградская). Структура капитала зависит от взаимоотношений с конкретными регионами, скорости их реакции на предложения о вхождении в состав акционеров. Подвижной состав не передается в уставный капитал ППК из-за возможной его потери при банкротстве компании. По состоянию на конец 2010 г. деятельность большинства ППК является убыточной [1]. Стабильное функционирование пригородных перевозок возможно за счет четкого разграничения прав и обязанностей перевозчиков и всех регулирующих органов при организации пригородных перевозок и реализации механизма предоставления субсидий из бюджетов разных уровней.

Рынки пригородных перевозок носят локальный характер. В каждом конкретном городе особенности пригородного сообщения свои. И для того чтобы в наилучшей степени удовлетворить потребности потребителя и соблюсти баланс между качеством услуги и доступностью цены, необходимо в каждом конкретном городе, в каждом конкретном регионе принимать свои уникальные решения. В масштабах крупных федеральных компаний это сделать трудно. В масштабах региональной компании, которая будет заниматься пригородным сообщением, это сделать можно [2].

Известно, как сложен процесс регулирования финансовых взаимоотношений между региональными пригородными компаниями и территориальными структурами ОАО «РЖД», между пригородными компаниями и местными органами исполнительной власти. В связи с этим необходимо решать вопросы связанные с формированием доказательной базы, с корректностью, а главное, транспарентностью определения затрат на перевозку пассажиров.

В условиях дефицита средств в бюджете субъектов Российской Федерации на погашение выпадающих доходов возникающих от регулирования тарифов пригородных пассажирских компаний, последние вынуждены, да и обязаны искать резервы повышения доходов и снижения расходов.

Один из вариантов снижения затрат – оптимизация предъявляемых расходов. На железнодорожном транспорте имеется методика, утвержденная распоряжением Старшего вице-президента ОАО «РЖД» Михайлова В.В. от 20.10.2010 г. №2174р, предусматривающая порядок расчета стоимости услуг ОАО «РЖД» для пригородных компаний. Определение стоимости услуг, оказываемых пригородным пассажирским компаниям предназначается для расчета стоимости услуг по:

- техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава;
- проведению капитального ремонта подвижного состава;
- управлению и эксплуатации подвижным составом;
- аренде подвижного состава.

В основу методики положен принцип, по которому стоимость услуг, оказываемых пригородным пассажирским компаниям (ППК), является равнозначной для всех регионов. Стоимость услуг за техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт подвижного состава определяется на основании себестоимости оказываемых услуг с учетом уровня рентабельности.

Себестоимость услуг рассчитывается на основании затрат компании за предыдущий отчетный период по статьям затрат. Ставки платы за услуги технического обслуживания и услуги текущего и капитального ремонта рассчитываются отдельно. При этом себестоимость определяется как бы очень просто: размер затрат, отраженных по статьям за предыдущий отчетный период делится на объем вагоно-километровой работы ОАО «РЖД» и пригород-

ных компаний за аналогичный период. Однако, возникает немало проблем при определении числителя этой формулы.

Например, что мы берем за базу, какой период? Сейчас действуют утвержденные департаментами корпоративных финансов и планирования и бюджетирования ставки, рассчитанные по данным девяти месяцев прошлого года. Но некоторые затраты, причем довольно значительные, возникают периодически. Например, затраты на капитальный ремонт подвижного состава. При приобретении нового подвижного состава увеличиваются налог на имущество и амортизация.

Кроме того, структура затрат по видам ремонта мотор-вагонных секций тоже будет влиять на их общую величину. Пригородным компаниям интересно знать, сколько стоит каждый конкретный ремонт.

Недостатком существующей методики является то, что ставки определяются по отчетным данным предыдущего периода. При изменении структуры работ, объема и ценовой политики фактические затраты будут отличаться от заложенных в ставках и существует опасность недостаточного финансирования или необоснованного уровня прибыльности пригородных компаний.

Не ясен и подход к периодичности определения ставок. Если они будут пересчитываться по утвержденной методике ежегодно, то необходима понятная и простая доказательная база для правомерности использования затрат прошлого периода для определения цен на услуги текущего. А индексация единой ставки по планируемому уровню инфляции или по индексам потребительских цен и цен промышленной продукции, или по плановому росту тарифов на пригородные перевозки тем более не даст достоверных цен на услуги, оказываемые ОАО «РЖД» пригородным компаниям.

Есть вопросы и при распределении накладных расходов, да и многое другое, что и называется на выше названной транспарентности расходов и корректности распределения затрат.

Обеспечение формирования стоимости измерителей по реальным расходам железнодорожного транспорта необходимо и для целей управления затратами. В этом случае требуется автоматизация процесса сбора информации и ее обработки с возможностью расшифровки всех статей затрат и их документальным подтверждением при расчетах с пригородными пассажирскими компаниями.

В НИЛ «Экономика транспорта» СГУПС разработана и внедрена на трех железных дорогах сети информационная система, обеспечивающая прозрачность при формировании себестоимости и цены на участках текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов. Методические подходы к калькулированию затрат, используемые в этой информационной системе, названной «ТОР-Финанс», могут стать основой и при автоматизации расчетов формирования себестоимости услуг моторвагонных локомотивных депо, предоставляющих услуги пригородным компаниям. Эти депо ремонтируют пригородный подвижной состав, и хотя программа их ремонта довольно разнообразна, разработанные в «ТОР-Финансе» методика и алгоритмы расчета затрат на каждый отремонтированный вагон приемлемы и для текущих и капитальных ремонтов мотор-вагонных секций в части прямых и в части накладных расходов.

Проведенный в локомотивных депо аудит норм затрат труда и материалов по всем операциям технологического процесса выявил особенности каждого депо в зависимости от технической оснащенности и организации работы, позволил рассчитать местные нормы затрат труда и сформировать справочную базу материальных затрат. Для обеспечения корректности расчетов к каждой технологической операции произведена привязка используемых материалов, установленных узлов и деталей. В результате прямые затраты в автоматическом режиме формируются по каждой конкретной секции. Разработаны предложения и по точности распределения косвенных расходов.

Это все сделано для формирования доказательной базы, но это же мы сможем использовать и для управления расходами, для повышения ответственности за качество ремонта, так как каждая выполненная операция может быть связана с конкретной фамилией работника.

Исходя из социальной ориентированности пригородных перевозок, вполне оправдан подход по установлению тарифов на перевозку именно органами власти соответствующего субъекта федерации.

Однако стоит отметить, что государственное регулирование тарифов, как основного ис-

точника заработка пригородных компаний, не должно происходить им в ущерб, поскольку в противном случае компаниям придется принимать ответные меры по оптимизации своих расходов, сокращая частоту движения поездов, число вагонов или вовсе прекращая работу на определенных участках.

Для снижения расходов ППК, необходимо вести работы по снижению порожнего пробега вагонов, вызванного их малой населенностью, поскольку следствием этого является излишняя вагоно-километровая работа, приводящая к росту предъявленных расходов со стороны ОАО «Российские железные дороги». Маржинальный анализ показал, что достижение уровня средней населенности вагона пригородного поезда в 48,14 человек/вагон, используя методы оптимизации графика движения поездов, рационального использования подвижного состава и привлечения новых клиентов за счет повышения качества обслуживания, позволят пригородным компаниям региона Западно-Сибирской железной дороги довести уровень своих расходов до уровня доходов, что обеспечит их безубыточную работу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Поликарпов, Я.А. Текущее состояние пригородного пассажирского комплекса в Российской Федерации / Я.А. Поликарпов // Экономика ж. д. -2011. -№10.
 2 Алиев, А. Пригородная реформа [Электронный ресурс]: / А. Алиев // Expert Online: Интернет-журн. -М. -12.01.2011 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: возмещение затрат, пригородные перевозки, государственное регулирование тарифов, оптимизация расходов, транспарентность, мотор-вагонные секции
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Лунина Татьяна Аркадьевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

РИСКИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕЕЗДАХ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Т.В. Колмогорова

THE RISKS OF TRAFFIC ACCIDENTS AND INCREASE OF SAFETY MEASURES AT RAILWAY CROSSINGS
 «Siberian state transport university»
 T.V. Kolmogorova

The problems of safety measures at railway crossings have been considered as well as traffic accidents statistics in the Russian Federation has been analyzed and solutions for reducing of accidents at railway crossings have been offered.

Keywords: safety of traffic, traffic accidents, railway crossings, overpass

Рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением безопасности движения на переездах, проанализирована статистика дорожно-транспортных происшествий на территории РФ, даны предложения по снижению аварийности на железнодорожных переездах.

Аварийность на автомобильном и железнодорожном транспортах является одной из острейших социально-экономических проблем, стоящих перед большинством стран. В результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) каждый год в мире погибают и получают ранения более 10 миллионов человек.

В таблице приведены данные о динамике роста количества дорожно-транспортных происшествий в Российской Федерации [1].

Таблица – Основные показатели аварийности на автомобильных дорогах Российской Федерации за период 1994-2010 гг.

Показатели	Годы								
	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Количество ДТП, тыс.шт.	174,9	160,5	160,3	157,5	184,3	223,3	229,1	218,3	199,4
Число раненных, тыс. чел.	189,9	178,4	183,8	179,4	215,6	248,3	252,1	255,5	250,6
Число погибших, тыс. чел.	35,6	29,5	29,0	29,5	33,2	35,0	32,0	27,7	26,6
Число погибших в 100 ДТП, чел.	20,4	18,4	18,1	18,8	18,0	16,0	14,0	12,7	13,3

На сети железных дорог эксплуатируется более 11,5 тыс. железнодорожных переездов, из которых 2,4 тыс. обслуживаются дежурными. Из общего количества переездов 49,7%

оборудованы автоматической сигнализацией и шлагбаумами, на 37,2% есть железобетонный настил и на 37,4% – резинокордное покрытие. С 1993 года на сети внедряются устройства заграждения переезда, исключая выезд на проезжую часть транспортных средств при проходе поезда. Ими оборудованы 71,5% переездов, обслуживаемых дежурными работниками [2].

Вместе с тем, состояние безопасности движения на железнодорожных переездах продолжает оставаться неблагоприятным. Ежегодно регистрируется более 200 дорожно-транспортных происшествий с участием железнодорожного подвижного состава, при которых погибают и получают травмы более 150 человек (рисунок 1). Абсолютное большинство дорожно-транспортных происшествий происходит на неохраняемых переездах. Особо тяжелые последствия наступают при столкновении пассажирского транспорта.

Несмотря на то, что число ДТП на переездах примерно в 1000 раз меньше, чем на автодорогах в целом, в связи с тяжелыми последствиями происшествия на железнодорожных переездах имеют большой общественный резонанс.

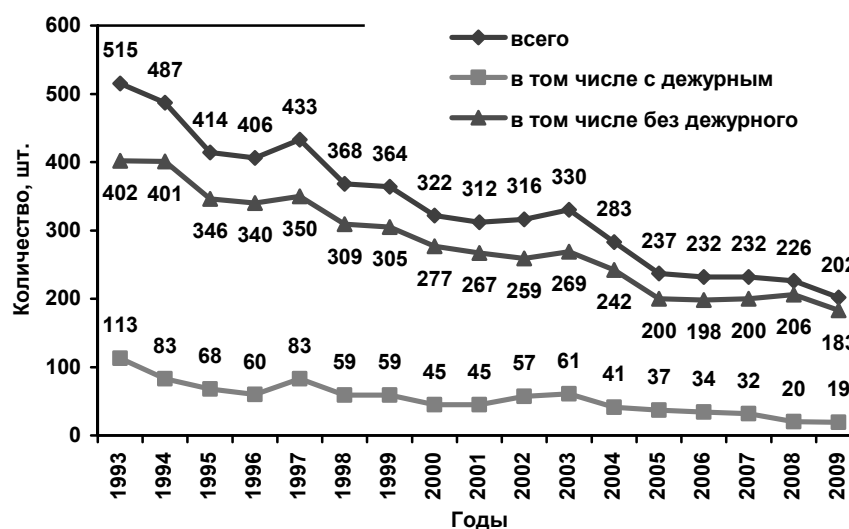


Рисунок 1 – Динамика ДТП на железнодорожных переездах

Анализ данных свидетельствует об установившейся тенденции ежегодного сокращения количества ДТП на переездах. В сравнении с 1993 г. по состоянию на 01.01.2009 г. общее количество ДТП сокращено на 313 или 60,8%.

Снижено количество пострадавших в ДТП людей на 254 человек или 62%, в том числе погибших – на 85 человек или 64% (рисунок 2).



Рисунок 2 – Динамика количества пострадавших в ДТП на переездах

Большинство дорожно-транспортных происшествий на пересечениях автомобильных дорог и железнодорожных путей связаны с грубыми нарушениями Правил дорожного движения водителями транспортных средств. Зачастую просматривается тенденция сознательного невыполнения ими установленных требований указанных Правил, распределение ДТП на железнодорожных переездах по вине водителей транспортных средств представлено на рисунке 3.

Отрицательно сказывается на состоянии безопасности движения недостатки в техническом состоянии переездов, их содержании и эксплуатации, в том числе настилов и проезжей части автомобильных дорог на подъездах к ним.

Большое значение имеет изучение и использование на практике отечественного и зарубежного опыта безаварийной эксплуатации переездов.

Модернизация переездов лишь частично снижает связанные с ними потери и опасности, полное же устранение последних достигается устройством развязок в разных уровнях. Целесообразность строительства пересечений в разных уровнях вместо существующих переездов может быть определена сроком окупаемости строительных, затрат. Очередность же замены переездов путепроводами необходимо устанавливать на основании технико-экономических расчетов сопоставлением эксплуатационных расходов, и стоимости строительства первоочередных объектов. Стоимость сооружения одного путепровода составляет 300-500 млн. рублей.

На рисунке 4 показана динамика строительства путепроводов по сравнению с закрытием железнодорожных переездов.

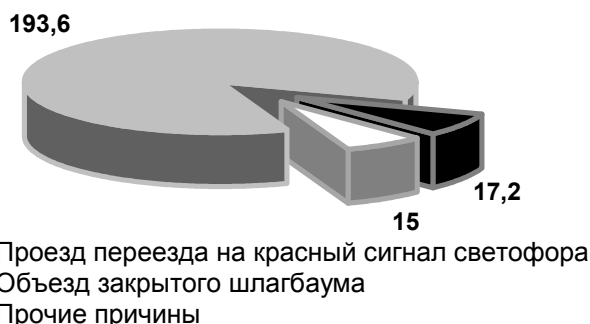


Рисунок 3 – Распределение ДТП на железнодорожных переездах по вине водителей транспортных средств

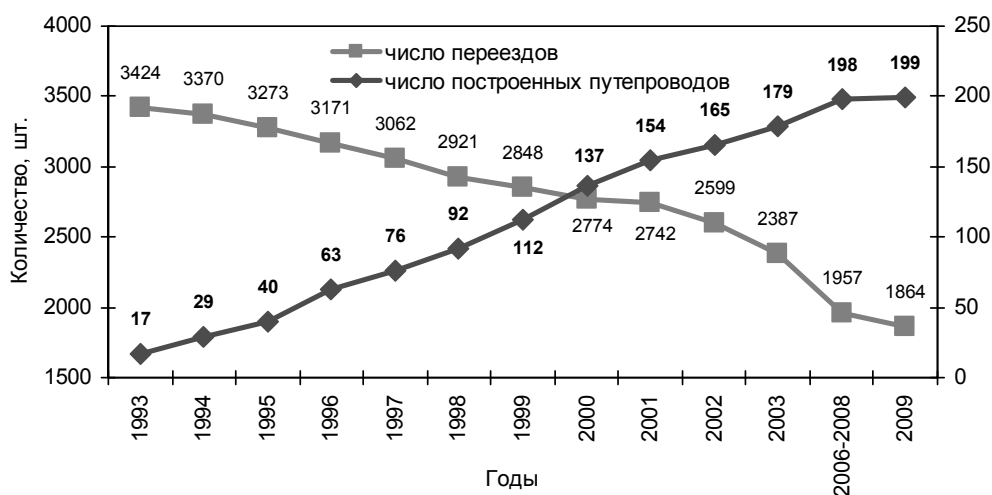


Рисунок 4 – Темпы строительства путепроводов (нарастающий итог) по сравнению с динамикой сокращения числа переездов, обслуживаемых дежурными

Так как существующее количество путепроводов на сети ОАО «РЖД» не удовлетворяет потребностям, статистика дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах требует разрабатывать новые технические средства на переездах, которые должны их предотвращать.

На кафедре «Путь и путевое хозяйство» коллектив авторов в лице докт. техн. наук, проф. Карпущенко Н.И., канд. техн. наук, доцента Величко Д.В. и преп. Колмогоровой Т.В. разработали систему ограждения неохраняемых железнодорожных переездов (рисунок 5), номер заявки 2011127557 (040835) от 05.07.2011 г.)

Устройство для ограждения железнодорожного переезда содержит установленные сим-

метрично относительно продольной оси проезжей части дороги на ее обочинах стойки 2, между которыми закреплен ограждающий элемент 3.

Система управления ограждением состоит из датчиков движения 4, установленных на стойках 2 и ограждающих барьерах 5. В нерабочем состоянии ограждающий элемент размещается в выполненном в проезжей части дороги желобе 6. Установка ограждающего элемента 3 в исходное или рабочее положение производится с помощью электропривода, состоящего из цепных передач (на рисунке 5 не показаны).

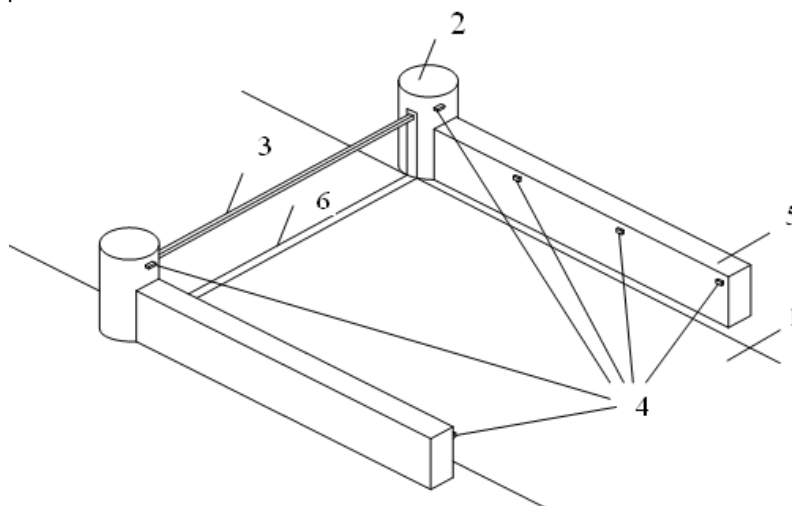


Рисунок 5 – Общий вид устройства для ограждения неохраняемого железнодорожного переезда (1- проезжая часть дороги; 2-стойка; 3-ограждающий элемент; 4-датчики движения; 5-ограждающий барьер; 6-желоб)

Устройство работает следующим образом. При загорании красного цвета на переездном светофоре, указывающем о приближении поезда, сигнал поступает в процессор и включает датчики движения.

При движении транспортного средства, датчики движения срабатывают, фиксируя попытку несанкционированного выезда автотранспорта на неохраняемый переезд и подают сигналы процессору, при этом ограждающий элемент поднимается в рабочее положение и задерживает транспортное средство. При взаимодействии транспортного средства с ограждающим элементом, последний, упруго деформируясь, охватывает переднюю часть транспортного средства, впоследствии транспортное средство плавно замедляется и останавливается. Ограждающие барьеры, установленные на обочине автодороги препятствуют смещению транспортного средства на обочину, а также предотвращают попадание пешеходов в зону действия датчиков движения.

В целях фиксации дорожной ситуации на неохраняемом переезде в обоих направлениях движения транспортного средства, устанавливаются видеокамеры, например, работающие в период действия запрещающего сигнала светофора.

Преимуществами заявленного устройства для ограждения железнодорожного переезда являются уменьшение эксплуатационных затрат за счет отсутствия необходимости в дежурном по переезду, пропуска негабаритного по высоте автотранспорта, автоматизации сбора, обработки информации и принятия решения, а также повышение безопасности движения, за счет задержания транспортного средства перед проходящим поездом на неохраняемом переезде.

В будущем необходимо внедрять на дорогах ОАО «РЖД» систему контроля за состоянием на переездах, основанную на использовании спутниковых технологий ГЛОНАСС/GPS. Такая система позволила бы в режиме реального времени получать оперативную информацию для принятия решений, давать возможность переводить отдельные узлы и сооружения переездов в режим автоматической работы, то есть без обслуживающего персонала. Информация со спутников позволяла бы определять на электронной карте местоположение поездов в режиме реального времени, контролировать прохождение установленных пунктов, маршруты движения за любой промежуток времени, то есть объективно оценивать обстановку в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Переезды Российских железных дорог. Аналитические материалы о переездах железных дорог и обеспечении безопасности движения на них / Департамент пути и сооружений ОАО «РЖД». -М.: Академкнига, 2004. -152 с.
- 2 Воробьев, В.Б. Главная вертикаль / В.Б. Воробьев // Гудок. -2010. -15 сент.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безопасность движения, дорожно-транспортные происшествия, железнодорожные переезды, путепроводы
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Колмогорова Татьяна Валентиновна, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ОАО «Сибпромжелдортранс»

К.Н. Сокол

IMPROVEMENT OF THE COST MANAGEMENT SYSTEM FOR INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORTATION
«Sibpromzheldortrans»
K.P. Sokol

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

Keywords: industrial railway transportation, cost management, cost classification, cost driver

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

Формирование в Новосибирской области современного транспортно-логистического узла связано с развитием инфраструктуры региона, с использованием конкурентных преимуществ нахождения на пересечении транспортных путей. Конечные результаты деятельности транспортного комплекса во многом зависят от того, насколько эффективно работает промышленный железнодорожный транспорт, выполняя технологические перемещения внутри промышленных предприятий и осуществляя транспортные связи между ними и магистральным транспортом по поставке сырья и вывозу готовой продукции.

В состав ОАО «Сибпромжелдортранс» (СПЖТ) входят два отделения (Искитимское, Алтайское) и четыре участка при Управлении СПЖТ: Ленинский, Октябрьский, Дзержинский и Куйбышевский. Железнодорожными услугами общества пользуются 676 предприятий и организаций энергетического комплекса, строительной индустрии, промышленности Новосибирской области и Алтайского края. Компания осуществляет транспортно-экспедиционное обслуживание на железнодорожных путях необщего пользования (подача и уборка груженых или порожних вагонов, а также погрузочно-разгрузочные работы).

Эффективное развитие промышленного железнодорожного транспорта предполагает наличие соответствующих механизмов управления затратами.

Основные цели совершенствования системы управленческого учета: обеспечение планирования, координации, контроля осуществляемых услуг в сфере перевозок; предоставление руководству компании информации, необходимой и достаточной для принятия стратегических и оперативных управленческих решений.

Развитие рынка услуг промышленного железнодорожного транспорта повышает актуальность вопросов постановки и совершенствования экономического управления: разработки политики формирования тарифов, управления затратами и бюджетирования. Методы ценообразования базируются на определении структуры затрат, обеспечивающих рентабельность работы предприятий. Показатели, характеризующие издержки, кроме целей тарифообразования, необходимы при решении многих задач управления, как информация менеджерам о затратах по объектам учета.

На промышленном железнодорожном транспорте устанавливается сумма эксплуатационных расходов на запланированный объем работ. Расходы аккумулируются по видам деятельности: основная деятельность (подача и уборка вагонов по подъездным железнодорожным путям, маневровая работа локомотива, не совмещенная во времени с подачей и уборкой вагонов, погрузочно-разгрузочные работы, прочие профильные услуги), прочие услуги, торговая деятельность. Общепринятой является группировка расходов по следующим элементам: фонд оплаты труда, отчисления на социальные нужды, материальные затраты (на материалы, топливо, электроэнергию), амортизация, прочие расходы [3]. Принцип группировки затрат по статьям на промышленном железнодорожном транспорте в основном не соблюдается. Не существует единой номенклатуры расходов.

Для внутрипроизводственного планирования и выявления резервов снижения себестоимости продукции необходимо знать не только общие суммы затрат по экономическим элементам, но и величину расходов в зависимости от места их возникновения, от направления их использования. Такую возможность дает классификация затрат. Система управления затратами является основной и наиболее сложной частью управленческого учета [1].

Основные задачи управления затратами деятельности компаний промышленного железнодорожного транспорта:

- выявление роли управления затратами как фактора повышения экономических результатов деятельности;
- определение основных методов управления затратами;
- определение экономических и технических способов и средств измерения, учета и контроля затрат на предприятии.

Оптимально разработанная система классификаторов определяет надежность и достоверность всей системы управленческого учета. Поэтому при разработке необходимо в первую очередь сформулировать основные требования к системе классификаторов на базе особенностей процесса и объекта управления. Для управления затратами формируются классификаторы объектов, мест возникновения, статей и элементов затрат.

Структура предприятия промышленного железнодорожного транспорта представляет собой сложную систему взаимосвязанных подразделений, некоторым образом локальную модель магистрального железнодорожного транспорта, в которую входят участки, отвечающие за содержание пути, систем электроснабжения, устройств СЦБ, связи, ремонт подвижного состава [2]. Эти сегменты предприятия являются центрами (местами возникновения) затрат. В них менеджеры контролируют затраты, но не контролируют доходы и уровень инвестиций. Структурные подразделения характеризуются тем, что производимые в них процессы являются причиной возникновения затрат. Управленческий учет необходим для эффективного менеджмента на всех ступенях внутрифирменного управления, поэтому основным критерием является подразделение мест возникновения затрат (МВЗ) в зависимости от организационного деления предприятия.

По отношению к производству МВЗ делятся на основные и общие. К основным МВЗ относятся структурные единицы, напрямую вовлеченные в перевозку грузов и осуществление маневровых, погрузочно-разгрузочных работ. Они оцениваются по двум критериям: объему деятельности (измеритель) и количеству затрат.

К общим МВЗ относятся подразделения, не участвующие непосредственно в перевозках. Они включают: материальные МВЗ (склады, кладовые), которые отвечают за приобретение и хранение материалов; общецеховые и административные МВЗ, которые ответственны за управление, администрирование технологическим процессом, а также его поддержку.

При выделении МВЗ следует руководствоваться следующими общими принципами: территориальная и функциональная обособленность подразделений; возможность организации учета затрат; значительный объем возникающих затрат; соответствие структуре центров ответственности. Исходя из организационной и финансовой структуры предприятия, и в соответствии с данными принципами, строится первоначальная структура МВЗ с их группировкой по видам.

Система учета затрат по МВЗ – эффективное средство управления затратами и прибылью, если обеспечены:

- обоснованный выбор перечня центров затрат;
- обоснованный выбор контролируемых расходов;
- взаимосвязь показателей работы подразделений различных уровней;
- функционирование системы учета по центрам затрат параллельно с системой финансового учета.

Разработка системы классификаторов базируется на имеющихся бюджетных и отчетных формах. Поскольку классификаторы описывают объекты управления, они должны соотноситься с субъектами управления – центрами ответственности, то есть за каждой статьей должен быть закреплен центр ответственности, а каждому центру ответственности должен соответствовать набор статей классификаторов. Каждый объект учета должен быть представлен в одном классификаторе, а каждый классификационный признак – только один раз. Это упрощает учет и обеспечивает необходимую гибкость формирования отчетности.

Классификация по объектам затрат производится в зависимости от производимых компанией услуг, работ, которые формируют эти затраты. Основой классификации может являться технологический процесс обслуживания промышленных предприятий и организаций, объектом затрат – каждый вид услуг. В качестве укрупненных видов работ или основных видов деятельности могут выступать:

- подача и уборка вагонов по подъездным железнодорожным путям;

– маневровая работа локомотива, не совмещенная во времени с подачей и уборкой вагонов;

– погрузочно-разгрузочные работы.

Необходимо выделить деятельность, связанную с ремонтом подвижного состава. Данные затраты составляют значительную долю в общих расходах и требуют более детального контроля.

По каждому виду деятельности затраты могут выделяться в виде статей, определенных регламентом работ. Под перевозкой грузов понимается перемещение (подача и уборка) груженых вагонов и осуществление связанных с этим других технологических операций, выполняемых на подъездных путях и обеспечивающих завоз, вывоз и внутренние перемещения грузов. К другим технологическим операциям относятся: холостые рейсы локомотивов, перемещение порожних вагонов, маневровые операции по подбору групп вагонов, формирование и расформирование маршрутов и т.п. Погрузочно-разгрузочные работы включают операции перемещения грузов со складов или с подвижного состава других видов транспорта в вагоны и обратно, операции по перемещению грузов внутри складов, а также осуществление связанных с этим других технологических операций. К другим технологическим операциям относятся: работа тепловоза по доставке железнодорожного крана к месту погрузки-разгрузки, работа тепловоза по перестановке вагонов во время погрузки-разгрузки, доставка стропальщиков и других рабочих к месту погрузки-разгрузки и т.д. На основе традиционных подходов к классификации затрат для формирования номенклатуры расходов предприятий промышленного железнодорожного транспорта можно выделить основные признаки группировки затрат, которые приведены в таблице.

Таблица – Классификация затрат для разработки номенклатуры расходов СПЖТ

Признак классификации	Вид затрат
По видам деятельности	Основная деятельность; Прочие виды деятельности
По укрупненным видам работ (услуг)	Подача и уборка вагонов по подъездным железнодорожным путям; Маневровая работа локомотивов, не совмещенная во времени с подачей и уборкой вагонов; Погрузочно-разгрузочные работы
По центрам затрат	Локомотивное депо; Вагонный участок; Участок пути; Участок СЦБ и др.
По статьям затрат	По отдельным операциям, определенным регламентом работ
По экономическим элементам	Экономические элементы: материальные затраты, затраты на оплату труда, отчисления на социальные нужды, амортизация, прочие затраты.
По отношению к технологическому процессу	Основные – непосредственно связаны с технологическим процессом производства; Накладные – связаны с организацией, обслуживанием производства и управления им (общепроизводственные и общехозяйственные)
По способу включения в себестоимость продукции	Прямые – непосредственно относятся на конкретный вид продукции (услуг); Косвенные – распределяются между видами продукции (услуг) пропорционально выбранной базе
По отношению к объему производства	Переменные – изменяются пропорционально изменению объема производства; Постоянные – относительно постоянные, изменяются с изменением уровня производства

Необходимость изучения издержек компании и классификация расходов актуальны, так как вся совокупность затрат оказывает решающее влияние на формирование финансовых показателей. Основные цели аккумуляции и детализации затрат – их планирование и оценка. Расчет затрат может быть адаптирован к определенной цели.

Целью дальнейших исследований является разработка номенклатуры расходов в соответствии с предложенной классификацией затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Управленческий учет / Э.А. Аткинсон и [и др.]. -М.: Вильямс, 2005.
- 2 Экономика и организация промышленного транспорта / под ред. Н.П. Журавлева, И.С. Беседина. -М.: Желдориздат, 2001.
- 3 О тарифах на транспортные услуги, оказываемые на подъездных железнодорожных путях ОАО «Сибпромжелдортранс»: постановление губернатора Новосибир. обл. от 6 июня 2003 г. №391.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *промышленный железнодорожный транспорт, управление затратами, классификация затрат, места возникновения затрат*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Сокол Константин Павлович, зам. генерального директора ОАО «Сибпромжелдортранс»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630108, г. Новосибирск, ул. Станционная, 18/1, ОАО «Сибпромжелдортранс»*

ОСНОВЫ ТРАНСГРАНИЧНОЙ ВОДНОЙ ПОЛИТИКИ СТРАН ЕВРОСОЮЗА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Турбинский, В.А. Хмелев

THROUGH CROSS-BORDER WATER POLICY OF THE EU COUNTRIES
«Novosibirsk state academy of water transport»
V.V. Turbinsky, V.A. Khmelev

Problems of water management in river basins of Siberia is largely have similarities with the EU: Cross-border water use conditions, including the transport of navigable sections of the Siberian and East rivers of Russia.

Keywords: transboundary water object, river, interstate agreement, international law, water consumption

Проблемы водопользования в речных бассейнах Сибири во многом имеют схожие моменты с ЕС: трансграничные условия водопользования и в том числе транспортного использования судоходных участков сибирских и восточных рек России.

Трансграничные воды играют важную роль в регионе ЕЭК ООН. Из 56 стран региона все, кроме трех островных государств (Кипра, Исландии и Мальты) используют водные ресурсы совместно с одной или несколькими странами.

В регионе ЕЭК ООН на данный момент определено около 160 важнейших трансграничных рек, которые образуют или пересекают границу между двумя или более государствами. Примерно 100 из них впадают непосредственно в региональные моря, озера или пустынные водоприемники. В этих бассейнах расположено около 40 крупнейших трансграничных озер, совместно используемых двумя или тремя странами, и около 150 значительных трансграничных водоносных горизонтов. Площадь некоторых из 100 важнейших трансграничных бассейнов очень мала (от шестидеяти до нескольких сотен квадратных километров), как, например, в случае нескольких водных объектов, совместно использующихся Ирландией и Соединенным Королевством, Италией и Сан-Марино, Финляндией и Российской Федерацией, Турцией и Болгарией.

В ряде бассейнов, особенно в Центральной Азии, преобладающее использование для нужд сельского хозяйства водных ресурсов также привело к таким проблемам с качеством воды, как засоление почв и высокие концентрации минеральных солей в водных объектах.

Во многих бассейнах региона Восточной Европы и Центральной Азии распределение воды между прибрежными странами по-прежнему является проблемой, поскольку сохраняются разногласия по поводу квот на использование воды между расположенными выше и ниже по течению потребителями воды, относящимся к разным государствам [1]. В таких случаях редко принимаются во внимание комплексные потребности водных объектов, а взаимовыгодные решения, позволяющие решить существующие проблемы и избежать проблем в будущем, до сих пор не найдены. Особенно учитывая многообразие и комплексное воздействие (нагрузки) на водные объекты, а именно:

1 *Нагрузка, обусловленная водозабором.* Нагрузки, обусловленные забором в национальных частях бассейнов (в частности, использование воды в целях орошаемого земледелия, входят в число наиболее серьезных проблем, связанных с количеством воды.

2 *Гидроморфологические нагрузки.* Одна из часто игнорируемых проблем связана с нагрузкой, которую создают плотины гидроэлектростанций, изменение русла рек, ирригационные каналы и другие изменения гидроморфологических характеристик речных бассейнов. Оценка состояния водных ресурсов в бассейнах таких рек, как Дунай, Эльба, Рейн, Мёз и Шельда четко показала, насколько серьезны эти нагрузки, заставила государства предпри-

нять усилия по снижению этих нагрузок (например, в соответствии с Рамочной директивой ЕС по воде).

3 Трансграничные водоносные горизонты. Забор воды для нужд сельского хозяйства и обеспечения питьевой водой является основным фактором нагрузки, связанной с количеством воды, для трансграничных водоносных горизонтов. Демографический рост, интенсификация сельского хозяйства и развития туризма, как представляется, приведут к увеличению нагрузки на ресурсы подземных вод.

Другие источники нагрузки относятся к сектору горной добычи. В ряде бассейнов горно-рудная промышленность (например, по добыче меди, цинка, свинца и урана) является одним из наиболее значительных источников (как прошлого, так и настоящего) загрязнения, а ряд объектов хранения (включая хвостовые отвалы отходов добывающих и промышленных предприятий) создают значительные (или, по крайней мере, потенциально значительные) нагрузки. Кроме того, в некоторых частях региона добыча каменного угля существенно изменила течение подземных вод. Добыча бурого угля открытым способом, в особенности в некоторых частях Центральной Европы, приводит также к понижению уровня подземных вод. По этой причине во многих случаях необходимо принимать соответствующие меры по ограничению негативного воздействия на количество и качество воды. После завершения горной добычи необходимо осуществлять меры по реабилитации, с тем чтобы предотвратить дальнейшее негативное воздействие на водные и сухопутные экосистемы и/или восстановить поврежденные ландшафты и экосистемы, как это делается в бассейнах Эльбы, Одера и Рейна.

Хотя за последние десять лет были разработаны политические, законодательные, институциональные и административные рамки для осуществления трансграничного сотрудничества, оценка позволила выявить ряд недостатков, требующих исправления.

Трансграничный уровень. Основой для устойчивого и прочного сотрудничества служат двусторонние и многосторонние соглашения. Бассейны ряда рек до сих пор не охвачены соглашениями, а некоторые из существующих соглашений требуют пересмотра, в особенности в части, касающейся таких вопросов, как совместный мониторинг (см. ниже), предупреждение об экстремальных гидрологических явлениях и промышленных авариях, устойчивое управление паводками и совместное пользование водными ресурсами/распределение водных ресурсов. Существенные пробелы отмечены в сфере управления подземными водами; причем эти проблемы требуют безотлагательного решения.

Создание совместных органов является предварительным условием для налаживания эффективного сотрудничества и совместного мониторинга трансграничных вод и управления ими, примером чему могут служить успешно работающие совместные органы по управлению реками Эльба, Дунай, Мёз, Мозель/Саар, Рейн, Одер, Шельда и Сава, а также совместными водными ресурсами Финляндии и России, Казахстана и России. Для управления другими бассейнами, такими как бассейны рек Чу и Талас, и совместными водными ресурсами Албании и Греции, также были созданы совместные органы, но пока они находятся в стадии становления. В случае большинства других бассейнов специальные органы управления отсутствуют; недостаток политической воли к осуществлению совместных действий и сложные национальные процедуры (координация между национальными ведомствами и секторами) часто затрудняют переговоры о совместных мерах и затягивают согласование мандатов и задач совместных органов.

В случае ряда бассейнов, совместно используемых странами ЕС и странами, не являющимися членами ЕС, сохраняются противоречия в применимом законодательстве, следствием чего являются различия в требованиях в таких областях, как мониторинг и классификация водоемов и показатели эффективности технологий очистки. Реформа водного законодательства в сопредельных с ЕС странах может обеспечить его оперативное сближение с законодательством ЕС, в результате чего страны, расположенные выше и ниже по течению, смогут опираться на почти одни и те же стандарты [2].

Национальная политика и законодательство. Следует и далее совершенствовать национальные программы и законодательство, регулирующие хозяйственную деятельность с тем, чтобы она не оказывала отрицательного воздействия на воды и связанные с водой экосистемы. Особой проблемой является сельское хозяйство, в котором устранить факторы, приводящие к чрезмерному использованию природных ресурсов и разрушению экосистем.

Следует разрабатывать и применять законодательство, нацеленное на устранение разрозненности и улучшение координации между государственными ведомствами и учрежде-

ниями. Для этого потребуется четко определить ответственность и обязанности министерств по делам окружающей среды, сельского и лесного хозяйства, транспорта, энергетики, экономики и финансов. Такое законодательство должно также предусматривать координацию со всеми заинтересованными сторонами, например ассоциациями фермеров и группами водопользователей.

Мониторинг, управление данными и раннее предупреждение. К числу других вопросов, требующих сотрудничества, относятся совместный мониторинг и управление данными. Данные, собранные выше и ниже пересечения водотоком государственных границ, часто несопоставимы по причине несогласованности методов забора проб, измерений и (лабораторного) анализа в различных прибрежных странах. Поэтому совместные программы мониторинга, управления данными и оценки имеют ключевое значение для комплексного управления водными ресурсами. Это относится и к трансграничным подземным водам, поскольку низкий уровень трансграничного сотрудничества и недостаток технических пособий препятствуют систематическому мониторингу и оценке состояния таких вод.

Раннее предупреждение (о качестве и количестве вод) – это еще один вопрос, вызывающий обеспокоенность. Хотя промышленные аварии и сильные паводки часто давали мощный импульс принятию совместных мер в трансграничных бассейнах, совместные меры должны приниматься своевременно для недопущения бедствия или смягчения его последствий. Во многих бассейнах для этого требуется создать системы раннего предупреждения о паводках, засухах и аварийном загрязнении.

В дополнение к правовым и регулирующим мерам также важно уделять повышенное внимание образованию, профессиональной подготовке и консультированию в целях содействия овладению передовой сельскохозяйственной практикой и соблюдению действующего законодательства различными экономическими субъектами и населением в целом.

Выводы. Поскольку проблемы водопользования в речных бассейнах Сибири во многом имеют схожие моменты с ЕС: трансграничные условия водопользования и в том числе транспортного использования судоходных участков сибирских и восточных рек России, приведенные выше подходы Евросоюза относительно комплексной водной политики, достойны внимания и применения с учетом особенностей межрегионального и международного законодательства субъектов и стран-водопользователей. Проблема использования трансграничных и приграничных рек должна решаться на межгосударственном уровне, снимая тем самым политико-экономическую и социальную напряженность в этих районах. В России вызывают беспокойство проекты переброски вод верхнего Иртыша в безводные реки Китая и возможном безвозвратном отборе воды в Казахстан, для ирригации и пополнения погибающего Аральского моря, что катастрофически снизит водность Иртыша в районе Омска, Тобольска, Ханты-Мансийска, ведь реализация подобных планов может привести к поистине глобальным изменениям, ведь пока в этом регионе действующих межгосударственных соглашений, регулирующих использование водных ресурсов, практически не применяется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Берлинские правила по водным ресурсам / науч.-информ. центр МКВК. -Берлин, 2004. -36 с.
- 2 Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза №2000/60/ЕС от 23 октября 2000 года.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *трансграничный водный объект, реки, межгосударственные соглашения, международное право, водный транспорт*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Турбинский Виктор Владиславович, канд. мед. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Хмелев Вячеслав Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СТРЕЛОК КОНТАКТНОЙ СЕТИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Д.Д. Жмудь, В.А. Королев

RESEARCH AERIAL GUNNER RAILWAY CATENARY
«Omsk state transport university»
D.D. Zhmud, V.A. Korolev

To improve the quality of current collection on the gunners encouraged to apply refine the device air gunner without crossing contact wires.

Keywords: voltage fluctuation, contact pressure

Для улучшения качества токосъема на воздушных стрелках предложено применять усовершенствованные устройства воздушных стрелок без пересечения контактных проводов.

На электрифицированных железных дорогах Российской Федерации в настоящее время в эксплуатации находится 69,3 тыс. воздушных стрелок контактной сети.

В условиях скоростного движения электроподвижного состава предъявляются жесткие требования к надежности работы воздушных стрелок магистральных электрических железных дорог.

По значению параметра потока отказов

$$W(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Mr(t, t + \Delta t)}{\Delta t},$$

где Mr – математическое ожидание числа отказов за интервал времени Δt , воздушные стрелки занимают четвертое место в ряду наименее надежных устройств контактной сети.

Большинство повреждений токоприемников электровозов происходит именно на воздушных стрелках с пересечением контактных проводов (BC-1).

Основной причиной отказов воздушных стрелок является перекосяк контактных проводов в зоне подхвата (разность высот), возникающий при движении токоприемника и разрегулировка воздушной стрелки при изменении температуры воздуха.

Для повышения надежности работы воздушной стрелки применяют дополнительные устройства, которые устанавливают перед зоной подхвата. Наличие дополнительных устройств перед зоной подхвата усложняет работу воздушной стрелки при высоких скоростях движения. В связи с этим конструкции воздушных стрелок нуждаются в совершенствовании.

В Омском государственном университете путей сообщения (ОмГУПС) разработаны воздушные стрелки для скоростного и высокоскоростного движения.

Отличительной особенностью этих воздушных стрелок является отсутствие пересечения контактных проводов.

На рисунке 1 показано устройство воздушной стрелки с рессорной струной 5, представляющее вариант сопряжения контактных подвесок главного 1 и бокового путей 2, образующих воздушную стрелку, при этом контактные провода главного 1 и бокового путей 2 располагаются в переходном пролете не параллельно, а сближаются между собой, не пересекаясь, и фиксированы поддерживающими устройствами (BC-2) [1].

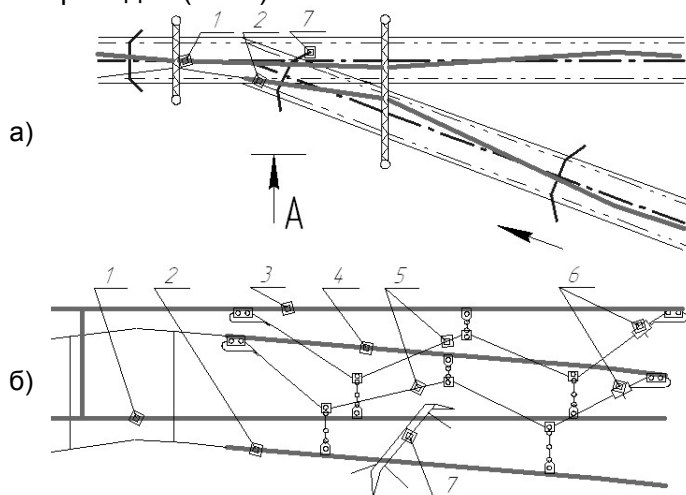


Рисунок 1 – Схема воздушной стрелки BC-2 с рессорной струной: а)-схема BC-3 над стрелочным переводом; б)-положение проводов в зоне стрелочного перевода

Статические испытания воздушных стрелок проводились на полигоне ОмГУПС.

Оценка устройств воздушных стрелок проводилась по критериям эффективности [2]. Анализ ВС по критериям эффективности представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Данные эксперимента по оценке ВС по критериям эффективности

Название параметра	ВС-1	ВС-2
Коэффициент перекоса проводов	0,75	–
Коэффициент скачка жесткости	0,41	0,15
Коэффициент повышения жесткости	0,84	0,2
Коэффициент боковой жесткости	0,45	0,45
Коэффициент скачка инерционных свойств	0,65	0,34
Коэффициент изменения демпфирующих свойств подвески	0,75	0,50

Оценкой качества токосъема является контактное нажатие. На Западно – Сибирской железной дороге, на Омском отделении был проведен экспериментальный объезд контактной сети вагон – лабораторией (ВИКС) с замером контактного нажатия в пролете с воздушной стрелки ВС-1; в пролете анкерного участка с воздушной стрелкой ВС-2. Графики контактного нажатия приведены на рисунке 2 и 3.

Оценка контактного нажатия выполнялась по критериям [3]. Анализ контактного нажатия в пролетах с ВС приведен в таблице 2.

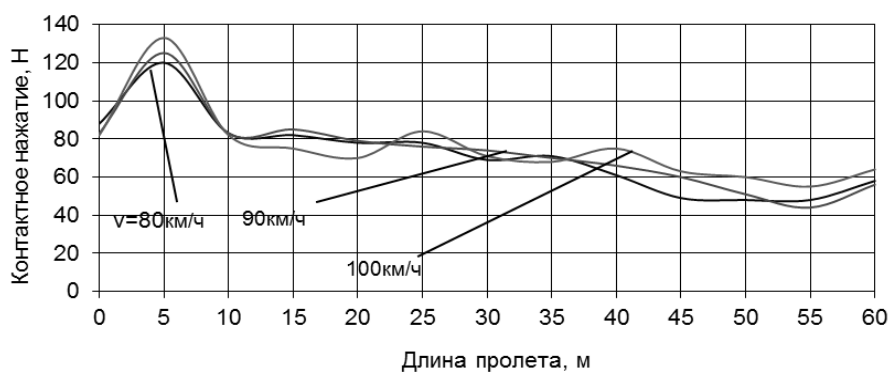


Рисунок 2 – Графики изменения контактного нажатия в пролете с ВС-1

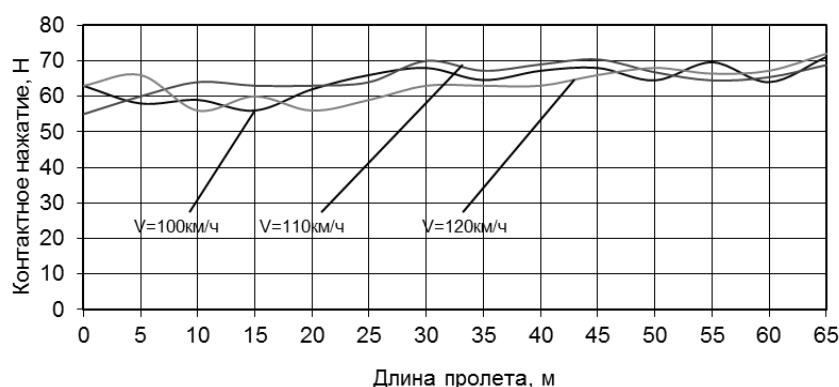


Рисунок 3 – Графики изменения контактного нажатия в пролете с ВС-2

Таблица 2 – Данные эксперимента контактного нажатия в пролетах с ВС

Тип воздушной стрелки	ВС-1			ВС-2		
	80	90	100	100	110	120
Скорость движения ЭПС, км/ч	80	90	100	100	110	120
Коэффициент относительного изменения контактного нажатия	0,7	0,8	0,7	0,2	0,2	0,1
Максимальная переменная составляющая контактного нажатия, Н	54	67	58	17	16	11
Среднее квадратическое отклонение, Н	18	22	18	6	6	5
Максимальный размах вертикальных перемещений точки контакта, мм	72	80	56	21	20	16

Для высокоскоростного движения для стрелочных переводов с маркой крестовины 1/22 и выше целесообразно использовать устройство ВС-2 воздушной стрелки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пат. 93349 Российская Федерация, МПК В 60 М 1/14. Воздушная стрелка контактной сети / Сидоров О.А., Королев В.А., Жмудь Д.Д. -№2009146611/22; заявл. 15.12.09; опубл. 27.04.10, Бюл. №12.

2 Королев, В.А. Оценка эффективности конструкций воздушных стрелок на основе вероятностей повреждений типа «зацеп» / В.И. Себелев, В.А. Королев // Совершенствование и автоматизация эксплуатации контактной сети и токоприемников в условиях интенсификации перевозочного процесса: межвуз. темат. сб. науч. тр. / Ом. ин-т инженеров ж.-д. трансп. -Омск, 1989. -С. 23-26.

3 Фрайфельд, А.В. Проектирование контактной сети / А.В. Фрайфельд. -М.: Транспорт, 1978. -304 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *воздушная стрелка контактной сети, контактное нажатие*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Жмудь Давид Дмитриевич, преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

Королев Виктор Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ11 ЗА СЧЕТ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ОСТАТОЧНОГО ПРОКАТА

Свердловская железная дорога – филиал ОАО «Российские железные дороги»
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»

В.Л. Балдин, А.П. Буйносов, В.А. Тихонов

INCREASE OF A RESOURCE OF BANDAGES OF WHEEL PAIRS ELECTRIC LOCOMOTIVES VL11 AT THE EXPENSE OF A CHOICE OF OPTIMUM RESIDUAL HIRE

Sverdlovsk railway, branch «Russian railways»

«Ural state university of means of communication»

V.L. Baldin, A.P. Buinosov, V.A. Tikhonov

Results of experimental researches of choice of optimum residual hire of bandages proceeding from criterion of the maximum resource before change of wheel pairs electric locomotives are stated.

Keywords: electric locomotive, wheel pair, a bandage, deterioration, controllable parametres, residual hire, a resource

Изложены результаты экспериментальных исследований выбора оптимального остаточного проката бандажей исходя из критерия максимального ресурса до смены колесных пар электровозов.

На сети железных дорог имеет место повышенный износ колес, бандажей и рельсов. Интенсивный износ колес и рельсов возросла в середине 1970-х годов и достигла наибольших размеров к началу 1980-х [1]. В этот период на железнодорожном транспорте существенно изменились условия эксплуатации. Завершилась перешивка колеи с 1524 мм на прямых участках на колею 1520 мм, изменились также нормы уширения колеи в кривых. На главных путях были уложены объемно-закаленные рельсы тяжелых типов повышенной твердости, а твердость колесной стали практически не изменилась. Был завершён переход на подшипники качения вместо подшипников скольжения, требующих постоянной смазки в буксах. Произошло увеличение статической нагрузки на ось, а также увеличение массы и длины поезда. Начали внедряться композиционные тормозные колодки вместо чугунных. В больших масштабах деревянные шпалы заменялись на железобетонные, при этом повысилась жесткость пути. Произошло ухудшение состояния пути и подвижного состава [1, 2].

Если раньше барьерными местами были горные перевальные участки с затяжными подъемами и спусками, то в настоящее время износ рельсов и колесных пар стал распространенным явлением по всей сети, в том числе и на равнинной части.

Для решения задачи снижения интенсивности износа гребней колесных пар подвижного состава и рельсов необходимы новые научные исследования и решения. И в первую очередь, разработка комплекса мероприятий, позволяющих исходя из конкретных условий эксплуатации, определить и устранить причины износа колеса и рельса [3].

Установить долю влияния каждой причины износа нельзя, так как преобладающее значение той или иной в их сумме изменяется во времени их участия. Только постоянное наблюдение, анализ технического состояния локомотивов и пути может установить причины и уменьшить их влияние на износ [4].

Анализ опубликованных работ показывает, что однозначной зависимости между износом и твердостью колес и рельсов не существует, так как при различных условиях трения существенно изменяется механизм истирания и, соответственно, интенсивность износа [5].

Также можно утверждать, что с повышением твердости увеличивается сопротивление материала пластической деформации, снижается образование возможных участков схватывания и, следовательно, повышается износостойкость бандажей колесных пар [6, 7].

При установлении оптимальных свойств сопряженных деталей «бандаж-рельс» решение задач сводится к нахождению методов, которые обеспечивают минимальную остаточную деформацию, не нарушая нормального режима работы бандажа, и исключают возникновение усталостных разрушений [6, 8].

По результатам исследований таким методом является частичная обточка бандажей, при которой профиль поверхности катания бандажа полностью не восстанавливают, а оставляют некоторый (остаточный) прокат, обеспечивающий наименьший износ и, соответственно, максимальный ресурс до смены бандажей [2].

Для определения оптимальной величины остаточного проката в локомотивном депо Свердловск-сортировочный велись наблюдения за 54 электровозами ВЛ11, которые были разделены по сериям на четыре группы: группа 1 – девять электровозов, колесные пары которых обтачивались с полным восстановлением профиля (без остаточного проката); группа 2 – восемь электровозов с восстановлением профиля при остаточном прокате 0,5 мм; группа 3 – пять электровозов с прокатом 1 мм; группа 4 – пять электровозов с прокатом после обточки 2 мм. Все бандажи обтачивались по новому профилю (ГОСТ 11018-2000, черт. 2).

Зависимости величины проката и изменение толщины бандажей от пробега определяли с помощью методов регрессионного анализа, который позволил выявить основные закономерности износа. Эти зависимости были аппроксимированы линейными функциями

$$y = a + bL,$$

где y – значение контролируемого параметра (прокат, толщина бандажей);

a – интенсивность нарастания проката, уменьшение толщины бандажей;

b – величина остаточного проката, толщина бандажа на начало рассмотрения;

L – пробег.

Результаты расчетов для электровозов ВЛ11 сведены в таблицу 1.

Полученные угловые коэффициенты уравнений регрессии контролируемых параметров при разных величинах остаточного проката отличны друг от друга. Методы сравнения уравнений регрессий позволили установить, что эти отличия существенны и не носят случайного характера [2]. Следовательно, величина остаточного проката сильно влияет на интенсивность износа бандажей колесных пар. Первоначальный интенсивный износ полосы катания полностью обточенного бандажа (отсутствие остаточного проката) можно объяснить воздействием твердой поверхности рельса на неупрочненный бандаж, так как в начальный момент эксплуатации твердость поверхности рельса на 35-40% превышает твердость бандажа [3].

При остаточном прокате 0,5 мм интенсивность нарастания проката (коэффициент a) уменьшается и наступает его стабилизация. В этом случае наблюдаются минимальная остаточная деформация, упрочнение поверхности катания бандажа, увеличивается сопротивление материала пластической деформации. При увеличении остаточного проката до 2 мм интенсивность нарастания проката увеличивается до 0,492 мм/104 км пробега. Это объясняется влиянием большой остаточной деформации, которая ведет к отслаиванию металла с поверхности катания, проскальзыванию колеса по рельсу.

Значения коэффициентов корреляции между зависимостями от пробега среднего значения проката и толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 с разным остаточным прокатом также представлены в таблице 1. Из нее видно, что значения всех коэффициентов корреляции близки к единице (0,886-0,990), а остаточные дисперсии, характеризующие разброс эмпирических точек около линейной регрессии, на порядок меньше дисперсий соответствующих контролируемых параметров.

Это свидетельствует об адекватности линейной аппроксимации, то есть о достаточно тесной связи контролируемых параметров с величиной пробега [4]. При помощи полученных зависимостей можно спрогнозировать износ бандажей и определить их ресурс [8].

Для прогнозирования процесса изнашивания и определения ресурса бандажей колесных пар с различным остаточным прокатом полученные зависимости экстраполировались в область больших значений пробега, предполагалось, что характер этих зависимостей не изменяется, то есть изнашивание бандажей остается в пределах нормальной эксплуатации (рисунки 1 и 2).

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Таблица 1 – Коэффициенты уравнений регрессии проката и толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 с различным остаточным прокатом

Контролируемый параметр	Величина остаточного проката	Зависимость	Объем выборки	Коэффициенты уравнения регрессии		Коэффициент корреляции	Остаточная дисперсия, мм ²
				a, мм/10 ⁴ км	b, мм		
Прокат	0	$M_y(L)$	946	0,471	0,008	0,945	0,027
		$\sigma_y(L)$		0,091	0,331	0,913	0,022
	0,5	$M_y(L)$	640	0,443	0,503	0,993	0,013
		$\sigma_y(L)$		0,060	0,314	0,897	0,045
	1,0	$M_y(L)$	400	0,480	1,117	0,923	0,066
		$\sigma_y(L)$		0,010	0,120	0,890	0,112
	2,0	$M_y(L)$	400	0,492	1,818	0,894	0,097
		$\sigma_y(L)$		0,043	0,311	0,926	0,003
Толщина бандажа	0	$M_y(L)$	946	-0,677	86,253	-0,991	0,295
		$\sigma_y(L)$		0,066	0,468	0,968	0,018
	0,5	$M_y(L)$	640	-0,451	86,591	-0,985	0,453
		$\sigma_y(L)$		0,065	0,802	0,920	0,218
	1,0	$M_y(L)$	400	-0,488	86,882	-0,964	0,115
		$\sigma_y(L)$		0,070	0,846	0,885	0,192
	2,0	$M_y(L)$	400	-0,490	86,709	-0,954	0,984
		$\sigma_y(L)$		0,105	0,698	0,776	1,150

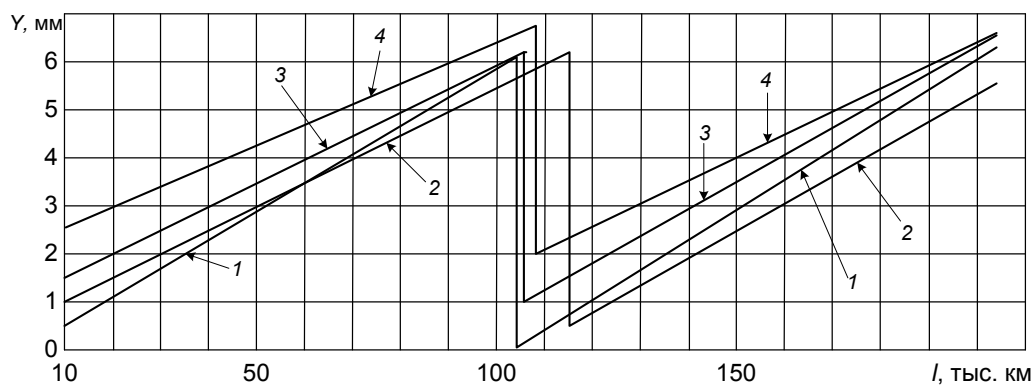


Рисунок 1 – Зависимости среднего значения проката бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 от пробега: 1-4 – зависимости для соответствующих групп электровозов с остаточным прокатом 0; 0,5; 1,0; 2,0 мм соответственно

Результаты расчетов по прогнозированию ресурса бандажей сводим в таблицу 2, определяем зависимости от величины остаточного проката ресурса бандажей до смены для электровозов ВЛ11.

Как видно из таблицы 2, прогнозируемый ресурс до смены бандажей при остаточном прокате 0,5 мм – максимальный и равен 762 тыс. км, то есть увеличен на 32%. Количество обточек существенно возрастает: с пяти (полностью восстановленный профиль) до шести-семи (остаточный прокат 0,5 мм).

Поэтому целесообразно изменить технологию обточки бандажей колесных пар, оставляя при этом прокат 0,5 мм. Прокат 0,5 мм достигается такой глубиной резания, при которой на поверхности катания остается полоса (площадка) накатанного металла шириной до

20 мм. Через нее передаются как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки.

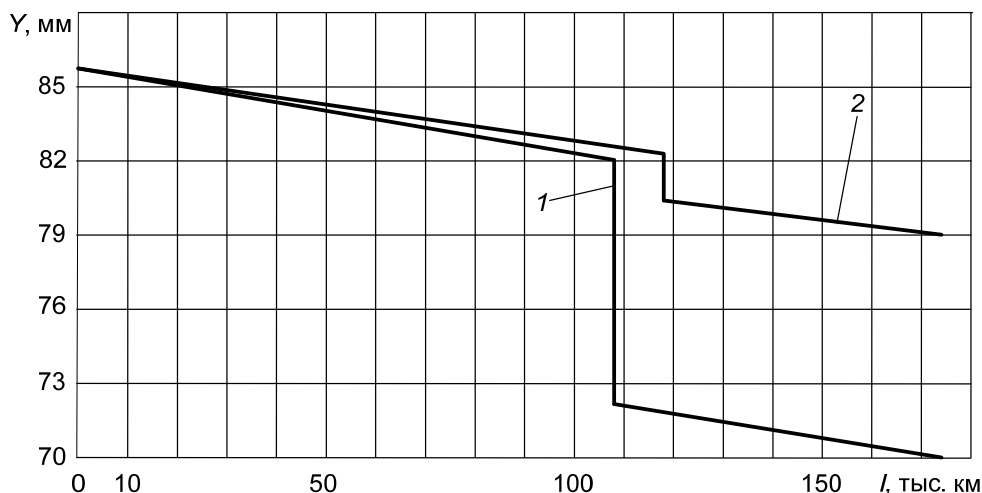


Рисунок 2 – Уменьшение толщины бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 при обточке без остаточного проката 1 и с остаточным прокатом 2

Площадка отличается тем, что она имеет большие размеры и расположена под углом примерно 35-40° к оси (площадка контакта на гребне расположена под углом 65°). Скольжение при таком контакте значительно уменьшается. Меньше становятся и удельные давления, а, следовательно, и износ. При таких условиях обточки технологический износ – минимальный и ресурс бандажа до списания определяется только его естественным износом. Изменение технологии обточки бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 позволит эксплуатировать электровозы в локомотивном депо Свердловск-сортировочный до ремонта КР-1 и не производить замену бандажей колесных пар на ТР-3.

Величина остаточного проката 0,5 мм, установленная для электровозов локомотивного депо Свердловск-сортировочный, в других условиях может отличаться, однако аналогичные исследования позволяют установить оптимальную величину остаточного проката для локомотивов любых серий, эксплуатируемых на разных железных дорогах.

Таблица 2 – Ресурс бандажей электровозов ВЛ11 с различным остаточным прокатом

Величина остаточного проката	90%-ный ресурс бандажей, тыс. км	
	обточка по предельному прокату	смена по минимальной толщине
0	115	578
0,5	124	762
1,0	119	639
2,0	105	516

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Горский, А.В. Использование ресурса бандажей колесных пар электровозов / А.В. Горский, А.П. Буйносов, М.А. Волков // Ж.-д. трансп. -1991. -№1. -С. 34-35.
- 2 Буйносов, А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения / А.П. Буйносов. -Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2009. -224 с.
- 3 Буйносов, А.П. Влияние упрочнения на ресурс бандажей колесных пар / А.П. Буйносов, Д.Л. Худояров // Трансп. Урала. -2010. -№1 (24). -С. 63-68.
- 4 Буйносов, А.П. Об износе бандажей электровозов ЧС2 и ЧС7 / А.П. Буйносов, В.С. Клинский // Ж.-д. трансп. -1992. -№5. -С.45-46.
- 5 Буйносов, А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Ж.-д. трансп. -1994. -№10. -С. 39-41.
- 6 Буйносов, А.П. Важный фактор уменьшения износа колес и рельсов / А.П. Буйносов, С.А. Дибров // Ж.-д. трансп. -1995. -№6. -С. 39.
- 7 Буйносов, А.П. Взаимодействие колеса и рельса / А.П. Буйносов // Путь и путевое хоз-во. -1999. -№5. -С. 22-25.
- 8 Буйносов, А.П. Определение допустимой разности диаметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава / А.П. Буйносов // Трансп. Урала. -2009. -№4 (23). -С. 53-54.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электровоз, колесная пара, бандаж, износ, контролируемые параметры, остаточный прокат, ресурс

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Балдин Валерий Леонидович, зам. начальника Свердловской ж/д, филиал ОАО «РЖД»
Буйносов Александр Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «УрГУПС»
Тихонов Виктор Артурович, аспирант ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 620013, г. Екатеринбург, ул. Челюскинцев, 11, Свердловской ж/д, филиал ОАО «РЖД»
620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОПОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ С ОТТЯЖКАМИ НА СТЕПЕНЬ ОПАСНОСТИ КОРРОЗИИ АНКЕРНОГО УЗЛА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Ю. Кузнецов, С.В. Ивашкин, К.В. Пичугин, А.С. Герасименко,
Ю.В. Демин, Г.В. Иванов

INFLUENCE CONSTRUCTIVE ESPECIALLY-STEJ SUPPORT OF HIGH-VOLTAGE LINES WITH DELAYS ON DEGREE OF DANGER OF CORROSION UNIT ANCHOR

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.Yu. Kuznetsov, S.V. Ivashkin, K.V. Pichugin, A.S. Gerasimenko, Yu.V. Demin, G.V. Ivanov

Distinctive feature of support of high-voltage lines with pull-off wire, in comparison from stand-alone support, are 10 times bigger distances between galvanic connected element support.

Keywords: high-voltage line, corrosion, anchor knot, a delay

Электросетевые конструкции по цепям заземления оказываются электрически связанными между собой в единую заземляющую систему. Они подвергаются одновременному воздействию самых различных факторов.

Отличительной особенностью опор высоковольтных линий (ВЛ) с оттяжками, по сравнению со свободностоящими опорами, являются на порядок большие расстояния между гальванически связанными элементами опоры. Эта конструктивная особенность приводит к тому, что происходит дифференциация поверхностей U-образных болтов на анодные и катодные зоны не только по глубине (за счет расположения конструкций в поле аэрации), но и в плане (за счет контактной коррозии).

Как показывают экспериментальные исследования на ВЛ 1150 кВ «Экибастуз-Барнаул» и ВЛ 500 кВ «Ермак-Омск» наиболее существенная дифференциация происходит у опор, располагаемых на склонах. Этот факт устанавливался с помощью пробного стального электрода, закрепленного на диэлектрическом (стеклопластиковом) стержне. При погружении пробного электрода в грунт, вдоль U-образных болтов, наблюдалось изменение направления тока от катодного до анодного, что подтверждает выводы теории и эксперимента (рисунок 1 и 2) и таблица 1.

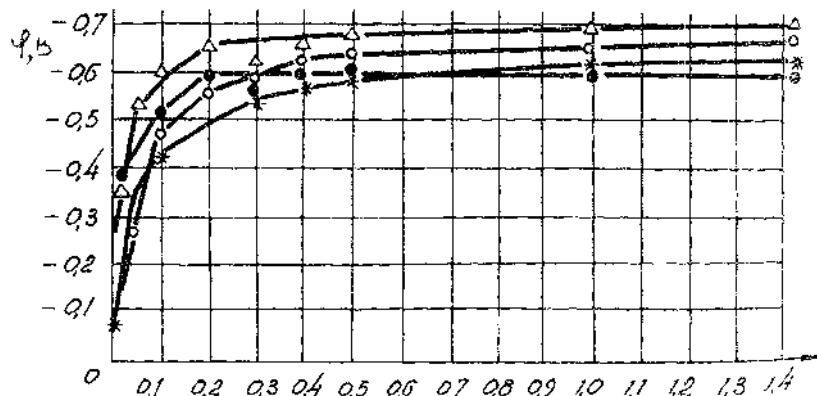


Рисунок 1 – Изменение потенциала по глубине (сталь)

Для описания распределения тока неравномерной аэрации по поверхности U-образных болтов может быть использована формула 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 U-образного болта.

Как видно из кривых изменения электрохимического потенциала (рисунок 1 и 2) с глуби-

ной зона влияния аэрации распространяется до глубины 0,5-0,6 м (для суглинков) и около 1 м для песков при средней их влажности. Если бы аналогичная глубина аэрации сохранилась и для U-образных болтов, то соотношение S_k/S_a лежало бы в пределах от 0,3 до 1,0, что соответствовало бы увеличению коррозии нижней части болта в 1,3-2,0 раза.

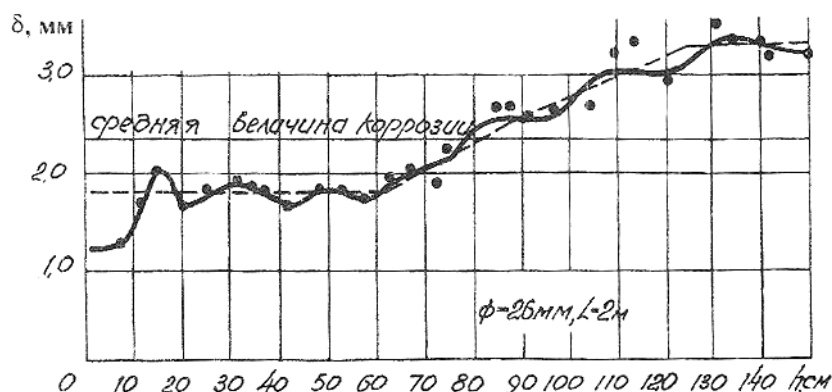


Рисунок 2 – Коррозия вертикального ИЗ (пст. Южказэнергр песок); •-глубина коррозии

Таблица 1 – Примеры распределения токов коррозии по поверхности U-образных болтов оттяжек опор

№ опоры	Глубина погружения электрода, м	Значение тока электрода*, мА				Примечание
		оттяжка 1	оттяжка 2	оттяжка 3	оттяжка 4	
890	0,2	-2,40	-0,93	–	–	Граница солончака и пахотного поля
	0,4	-1,60	-0,70	–	–	
	1,0	-0,08	-0,03	–	–	
	1,5	-0,02	-0,05	–	–	
	1,6	+0,04	+0,16	–	–	
	1,8	+0,12	+1,30	–	–	
320	0,2	-0,60	-0,85	-0,34	-1,45	Солончак (оттяжка 4 присыпана грунтом)
	0,4	-0,01	-0,34	-0,03	-1,10	
	1,0	+0,03	-0,11	+0,07	-0,06	
	1,4	+0,05	+0,04	+0,11	-0,01	
	1,6	+0,04	+0,05	+0,09	+0,00	
	1,8	+0,02	+0,04	+0,04	+0,35	

*-катодный ток (-); анодный ток (+)

На самом же деле, благодаря наличию вибрации оттяжек опор под действием ветра, вокруг U-образных болтов образуется «воронка», которая существенно увеличивает глубину проникновения кислорода и расширяет катодную зону U-образных болтов. В результате глубина аэрации возрастает до 1,2-1,5 м (рисунок 3), а в более сухих грунтах и до 1,8-1,9 м, что соответствует увеличению коррозии нижней части болта в 3,0 раза (рисунок 4).

Коррозионный процесс петель анкерных плит, при наличии надежного гальванического контакта с U-образным болтом протекает также по механизму пары дифференциальной аэрации. Благодаря наличию «воронок» вокруг U-образных болтов, зона подвода кислорода и дождевой влаги, обогащенной кислородом, приближается непосредственно к петле. Существование дренажного эффекта U-образных болтов по отношению к атмосферной влаге подтверждается следующим фактом. Откопка U-образного болта после небольшого дождя до глубины 1,0-1,2 м показала, что если верхний слой грунта промок до глубины 5-7 см, то вдоль болта Дождевая влага проникла в грунт до



Рисунок 3 – Образование аэрации U-образного болта

глубины 70-90 см (на порядок глубже). Данный эффект еще более усиливается за счет Дополнительного натекания дождевой влага по оттяжкам к U-образным болтам и вибрации оттяжек под действием ветра. Причем, если для долговечности ЖБ фундамента повышенная влажность является благоприятным фактором, то повышение обогащенной кислородом влаги у петли анкерной плиты – явление вредное, так как способствует появлению самостоятельного механизма коррозии петли.

Наиболее устойчивые «воронки» получаются в глинистых грунтах с недостаточным количеством влаги. Такие грунты чаще всего вблизи низин, болот, солончаков, а не в самих этих, наиболее опасных с точки зрения коррозии, местах.

Именно поэтому сильная опасность коррозии петель анкерных плит не совпадает с зоной сильной агрессивности грунта, а смещается ближе к области средней и слабой степени коррозии К3-К4. Наглядно этот факт иллюстрирует таблицей 1 и 2 и рисунком 3.

Следует отдельно рассмотреть возможную макропару «арматура анкерной плиты-петля», которая может работать независимо от остальной коррозионной системы, например, в случае значительного увеличения сопротивления контакта «U-образный болт-петля анкерной плиты». Эта макропара судя по потенциалам должна выполнять роль катода. Согласно теории коррозии катодный процесс в щелочных средах (бетон имеет pH=10-12) должен идти с кислородной поляризацией. Следовательно, к анкерной плите должен осуществляться постоянный подвод кислорода из окружающей среды, что весьма затруднительно из-за большой глубины залегания анкерной плиты и высокой плотности ее бетона. Косвенно это подтверждается тем, что влияние атмосферы на поддержание в катодном состоянии потенциала металла, расположенного в грунте на глубине 0,5-1,0 м уже незначительно (рисунок 2).



Рисунок 4 – Смещение максимума коррозии петли (δ_n) анкерной плиты под действием усиленной аэрации

Таблица 2 – Изменение глубины коррозии низа U-образного болта (петли) в зависимости от степени коррозии для заданного срока службы

Степень коррозии	К1	К2	К3	К4	К5	К6
Глубина коррозии за 20 лет	3	2	1,5	1,0	0,5	0,3
S_x/S_a	0,2/1,8	1/1	1,5/0,5	1,5/0,4	1,3/0,2	1,8/0,2
Глубина коррозии петли, мм	3,3	4,0	6,0	5,0	3,3	2,7

Скорость доставки кислорода в подземную часть ЗС опоры может оказаться, таким образом, определяющей в процессе коррозии Петли анкерной плиты.

В заключение необходимо отметить влияние механических напряжений в петлях анкерной плиты. Скорость коррозии стали может заметно увеличиваться при упругих деформациях лишь вблизи предела текучести (235-245 МПа), особенно при снижении pH среды.

Численное значение механического напряжения петли не превосходит предела текучести стали В Ст3 сп, из которой выполняется петля. Следовательно, опасность коррозии под действием напряжения слабая для новой петли. При снижении сечения петли под действием коррозии опасность механокоррозии возрастает. При образовании коррозионных язв скорость анодного растворения металла в вершине трещины под действием напряжений увеличивается. В целом, опасное влияние напряженного состояния на коррозию стали заключается не только в увеличении сплошной коррозии, сколько в превращении ее из равномерной в локальную.

Вывод: Наибольшее влияние на коррозию U-образных болтов и Петель анкерных плит оказывают пары дифференциальной аэрации, усиливаемые увеличением зоны аэрации за счет образования «воронки» вокруг U-образных болтов при их колебаниях при ветровой нагрузке. Вследствие этого нельзя оценивать опасность коррозии петель анкерных плит только по параметрам грунта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: высоковольтная линия, коррозия, анкерный узел, оттяжка
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кузнецов Алексей Юрьевич, ст. преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Пичугин Константин Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Герасименко Андрей Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Демин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОРРОЗИИ ЭЛЕМЕНТОВ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ОТТЯЖЕК ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО И УЛЬТРАВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Ю. Кузнецов, С.В. Ивашкин, К.В. Пичугин, А.С. Герасименко,
Ю.В. Демин, Г.В. Иванов

RESEARCH OF PROCESS OF CORROSION OF ELEMENTS ANCHOR FASTENINGS OF DELAYS OF SUPPORT OF AIR-LINES OF HIGH AND ULTRAVYSOKO TH TH PRESSURE
«Novosibirsk state academy of water transport»

A.Yu. Kuznetsov, S.V. Ivashkin, K.V. Pichugin, A.S. Gerasimenko, Yu.V. Demin, G.V. Ivanov

At research of the mechanism of corrosion anchoring delays of support of high-voltage lines it is necessary to estimate degree of danger of its kinds: contact corrosion; corrosion from pairs of differential aeration and others.

Keywords: high-voltage line, corrosion, anchor knot, a delay

При исследовании механизма коррозии анкерного крепления оттяжек опор высоковольтных линий необходимо оценить степень опасности её видов: контактной коррозии; коррозии от пар дифференциальной аэрации и других.

При исследовании механизма коррозии U-образных болтов и анкерных петель оттяжек опор высоковольтных линий (ВЛ) необходимо оценить степень опасности её видов: контактной коррозии; коррозии от пар дифференциальной аэрации; механокоррозии; электрокоррозии постоянным током.

Подземные элементы опор ВЛ с оттяжками связаны между собой, в том числе и телом опоры, в единую заземляющую систему (ЗС). при этом наряду с проводниками в системе присутствуют множество контактных соединений, сопротивления которых существенно влияют на степень коррозии этих элементов.

Так, на ВЛ 500 кВ «Экибастуз-Целиноград» (участок от п.Шидерты до п.«Торт Кудук», срок службы 22 года) в 98% случаев контакт между опорой и U-образным болтом отсутствует.

На опорах ВЛ 1150 кВ «Экибастуз-Барнаул» (срок службы 5 лет) в районах солончаков высокое сопротивление контактов встречается чаще, чем в лесных массивах. На ВЛ 1500 кВ (срок 2-3 года) лишь в 3-5% случаев указанный контакт отсутствует. Следовательно, с учетом коррозионных условий можно принять, что связи в ЗС опоры с оттяжками сохраняются в течение 5 лет.

«Пропадание» контактов будет влиять и на наведенные токи в замкнутых контурах опор, хотя в целом эти токи малы и по расчетам равны $1,2 \text{ A/m}^2$, что ниже допустимых. По экспериментальным данным эти токи были до 5,9 А и электрокоррозией на переменном токе можно пренебречь.

Влиянием постоянных блуждающих токов также можно пренебречь, поскольку, размеры ЗС малы, а грозозащитные тросы изолированы.

Оценка возможности коррозии элементов опор воздушных линий с оттяжками.

Термодинамическую возможность коррозии можно оценить, используя диаграммы Пурбэ (рисунок 1). Электрохимические потенциалы элементов ЗС опор приведены в таблице 1. Водородный показатель (рН) грунта принимаем равным 7 (нейтральная среда). По рисунку 1 для рН=7 и $\varphi = -0,7 \text{ В}$ (для оцинкованных деталей) и $\varphi = -0,41 \text{ В}$ (для железа) определяем, что элементы опор ВЛ с оттяжками в указанных условиях будут корродировать.

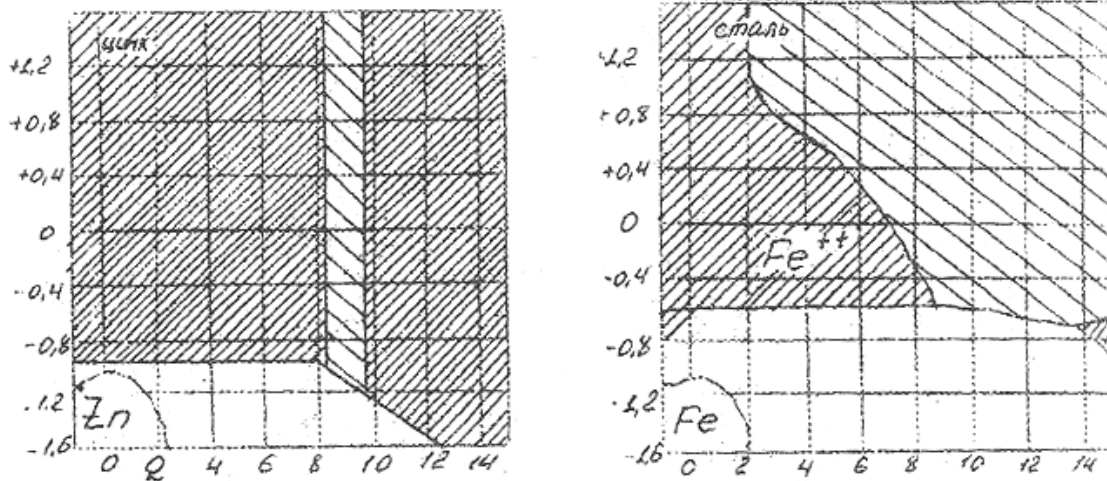


Рисунок 1 – Диаграмма Пурбэ для цинка и железа

Таблица 1 – Стационарные электрохимические потенциалы элементов ЗС опор ВЛ с оттяжками (к хлорсеребряному электроду сравнения)

Элемент конструкции	Площадь поверхности, см ²	Потенциал, В
Петля В Ст.3 сп	300	-0,41
Петля сцепления с арматурой	300	+0,10...-0,60
Петля плиты с продуктами коррозии	200-300	-0,10...-0,60
Оцинкованная сталь с продуктами коррозии	10000-20000	-0,60...-0,70
Анкера: оцинкованная сталь в грунте	10000-20000	-0,70...-0,85
Заземляющие спуски, сталь в грунте	20000-50000	-0,30...-0,70
Арматурная сталь в бетоне	50000-100000	+0,50...-0,70

Кроме коррозии металлов вследствие термодинамической их нестабильности, потенциально возможна контактная коррозия от макропар: сталь в бетоне (+0,05...-0,60 В); сталь в грунте (-0,40 В); цинк в грунте (-0,60...-0,85 В), обусловленных разностью указанных электрохимических потенциалов. Причем цинк, как более отрицательный элемент, должен растворяться в первую очередь.

Исследование контактной коррозии заземляющих систем опор воздушных линий с оттяжками. Исследование контактной коррозии указанной ЗС проводилось с помощью расчета различных вариантов по программе LKS.

Исходные данные для расчета токов коррозии в ЗС опор ВЛ 1150 кВ и 1500 кВ представлены в таблице 2. На рисунке 2, представлена расчетная схема: два U-образных болта, идущих к одной анкерной плите, задавались одним общим стержнем с эквивалентной поверхностью. Фундамент опоры также задавался круглым стержнем.

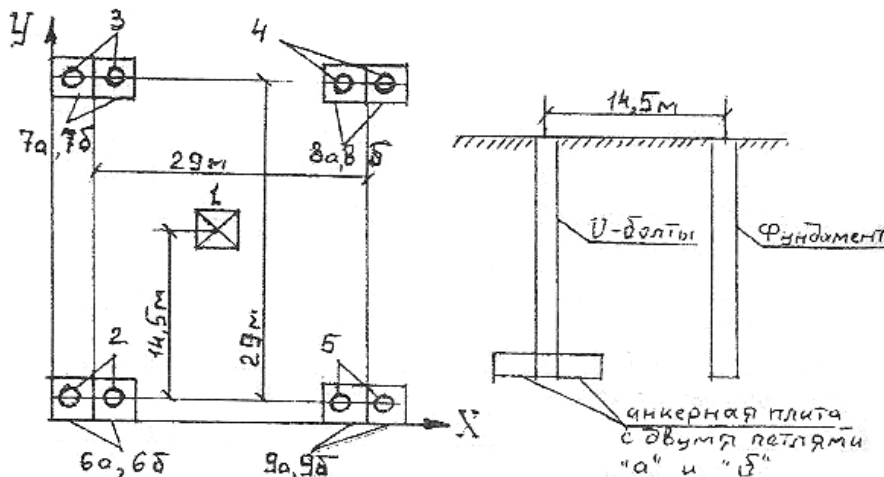


Рисунок 2 – Расчетная модель

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Искусственные заземлители при расчете не учитывались ввиду условия, что при эквивалентном удельном сопротивлении грунта менее 350 Ом·м нормируемое сопротивление обеспечивается естественными заземлителями без устройства заземления.

В расчетах были приняты следующие значения удельного сопротивления грунта: для К1 – 1,0 Ом·м; К3 – 10 Ом·м; К5 – 100 Ом·м.

Из таблицы 3 следует, что общий уровень плотности анодных токов лежит в пределах $(0,72-38) \cdot 10^{-3} \text{ А/м}^2$. Это соответствует слабой и средней степени коррозии независимо от степени агрессивности грунта. При наличии цинка анодные зоны располагаются на U-образных болтах независимо от величины удельного сопротивления грунта.

После растворения слоя цинка с ростом удельного сопротивления грунта происходит смещение анодных зон с U-образных болтов на петли анкерных плит. Величина анодного тока петли возрастает с падением агрессивности грунта (ростом удельного сопротивления).

Это означает, что при степени опасности коррозии по грунту К5, фактическая степень опасности коррозии (по току) равна К3. Следовательно, оценивать опасность коррозии анкерных петель по параметрам грунта нельзя. Этот факт обусловлен по-видимому влиянием ЗС на перераспределение токов коррозии внутри ее.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета токов коррозии ЗС опор ВЛ 1150 и 1500 кВ

№ эл.	До растворения цинка			После растворения цинка		
	φ_i , В	R_a , В	P_k , Ом	φ_i , В	R_a , В	P_k , Ом
а) Степень коррозии К1 (сильная)						
1	-0,6	350	500	-0,6	350	500
2-5	-0,85	10	100	-0,7	15	50
6аб	-0,6	10	200	-0,6	15	200
8аб	-0,6	10	200	-0,6	15	200
б) Степень коррозии К3 (средняя)						
1	-0,32	400	450	-0,32	400	450
2-5	0,78	30	50	-0,5	35	45
6аб	-0,55	10	200	-0,55	15	200
8аб	-0,55	10	200	-0,55	15	200
в) Степень коррозии К5 (слабая)						
1	+0,05	500	400	+0,05	500	400
2-5	-0,7	50	20	-0,3	70	30
6аб	-0,5	30	50	-0,5	35	40
8аб	-0,5	30	50	-0,5	35	40

Таблица 3 – Результаты расчетов токов коррозии

№ эл.	α_0 , Ом	До растворения цинка				После растворения цинка			
		φ_i , В	R_a , В	P_k , Ом	I , мА	φ_i , В	R_a , В	P_k , Ом	I , мА
Сопротивление грунта 1 Ом·м (сильная коррозия)									
1	0,27	-0,6	350	500	+0,474/+0,542	-0,6	350	500	+0,185/+0,173
2-5	0,27	-0,85	10	100	-1,298/-2,257	-0,7	15	50	-0,506/+0,429
6-13	15,3	-0,6	20	400	+0,590/+1,122	-0,6	15	200	+0,230/+0,429
Компромиссный потенциал $\varphi_k = -0,837/-0,826$ В; $\varphi_k = -0,692/-0,684$ В									
Сопротивление грунта 10 Ом·м (средняя коррозия)									
1	2,71	-0,32	400	450	+0,936/+0,879	-0,32	400	450	+0,466/+0,465
2-5	2,71	-0,78	30	50	-1,165/-1,786	-0,5	35	45	+0,683/+0,780
6-13	15,3	-0,55	20	400	+0,466/+0,784	-0,55	15	400	+0,400/+0,448
Компромиссный потенциал $\varphi_k = -0,744/-0,720$ В; $\varphi_k = -0,531/-0,536$ В									
Сопротивление грунта 100 Ом·м (сильная коррозия)									
1	27,1	+0,05	500	400	+1,564/+1,545	+0,05	500	400	+0,911/+0,925
2-5	27,1	-0,70	50	20	-1,312/-1,447	-0,3	70	30	-1,099/+1,263
6-13	152,7	-0,50	60	100	+0,461/+0,535	-0,5	70	80	-0,664/-0,747
Компромиссный потенциал $\varphi_k = -0,617/-0,609$ В; $\varphi_k = -0,388/-0,345$ В									

Обобщая в целом механизм коррозии анкерного крепления оттяжек опор ВЛВН и УВН можно констатировать следующее:

– Цинковое покрытие U-образных болтов и петель анкерных плит не даст существенно-

го увеличения долговечности вследствие быстрого (1,0-1,5 г) разрушения цинка. Это происходит из-за большой разности электрохимических потенциалов «сталь в бетоне-цинк в грунте» (0,7) В по сравнению с разностью потенциалов (0,5) В «сталь в бетоне-сталь без покрытий в грунте».

– Влияние контактной коррозии на долговечность U-образных болтов и петель анкерных плит влияет на их коррозию в течение 5-ти лет до момента окисления контактов.

– Механокоррозия оказывает заметное влияние на локальную коррозию вблизи предела текучести стали.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: высоковольтная линия, коррозия, анкерный узел, оттяжка
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кузнецов Алексей Юрьевич, ст. преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Пичугин Константин Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Герасименко Андрей Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Демин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ КОРРОЗИИ В ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ОПОР С ОТТЯЖКАМИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**А.Ю. Кузнецов, С.В. Ивашкин, К.В. Пичугин, А.С. Герасименко,
Ю.В. Демин, Г.В. Иванов, Е.Г. Алаев**

DISTRIBUTION OF CURRENTS OF CORROSION IN EARTHING SYSTEMS OF SUPPORT WITH DELAYS OF AIR-LINES OF ELECTRICITY TRANSMISSIONS

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.Yu. Kuznetsov, S.V. Ivashkin, K.V. Pichugin, A.S. Gerasimenko, Yu.V. Demin, G.V. Ivanov, E.G. Alaev

Electronetwork designs on grounding chains appear electrically connected among themselves in uniform earthing system. They are exposed to simultaneous influence of the most various factors.

Keywords: high-voltage line, corrosion, anchor knot, a delay

Электросетевые конструкции по цепям заземления оказываются электрически связанными между собой в единую заземляющую систему. Они подвергаются одновременному воздействию самых различных факторов.

В состав оборудования современных электроустановок входят разнообразные электросетевые конструкции: железобетонные фундаменты и стойки, силовые кабели с оболочками и броней, провода и тросы воздушных линий (ВЛ), искусственные заземлители, металлические и железобетонные опоры.

За исключением находящихся под напряжением проводов, линейной арматуры, все электросетевые конструкции по цепям заземления оказываются электрически связанными между собой в единую заземляющую систему. Эти системы подвергаются одновременному воздействию токов электроустановок, механических нагрузок и коррозии или старения от взаимодействия материалов конструкций и окружающей среды.

Выход из строя подземных сооружений обусловлен, в основном, грунтовой коррозией и электрокоррозией под воздействием блуждающих постоянных токов.

В последние 5-10 лет особенно актуальными стали вопросы обеспечения надежности работы опор ВЛ с оттяжками различных классов напряжений 220-1150 кВ.

Отказы в работе узлов оттяжек наблюдаются вследствие интенсивной коррозии U-образных болтов и анкерных петель.

Расчёт величин коррозионных токов и потенциалов в заземляющей системе электроустановок необходим для оценки их коррозионного состояния, принятия и оптимизации необходимых мер защиты заземляющего устройства при проектировании и эксплуатации.

Физической основой метода расчета токов и потенциалов коррозии является теория многоэлектродных электрохимических систем. В основе математической модели лежит система нелинейных уравнений, связывающих значения электродных электрохимических потенциалов и коррозионных (стекающих и втекающих) токов линейных коррозионных систем.

Блок-схема метода расчета представлена на рисунке 1.

Расчет токов коррозии в заземляющих системах опор воздушных линий. Расчет токов коррозии U-образных болтов выполняется с учетом дифференциации их поверхности на анодные и катодные зоны по глубине (за счет расположения конструкций в поле аэрации), при этом катодная зона (зона влияния аэрации) распространяется до глубины 0,5 м для суглинков и около одного метра для песков. Следует также отметить, что величина токов коррозии зависит от удельного сопротивления среды, в которой находится рассматриваемая система. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Из результатов расчета следует:

– при уменьшении удельного сопротивления грунта менее 20 Ом·м (согласно ГОСТ 9.602-2005 сильная коррозия), резко увеличиваются значения катодного и анодного токов. Особенно сильное влияние сказывается при удельном сопротивлении грунта менее 5 Ом·м. То есть, чем ниже удельное сопротивление грунта, тем интенсивнее идет процесс коррозии, что находится в полном соответствии с ГОСТ 9.602-2005.

При увеличении удельного сопротивления грунта более 20 Ом·м (средняя коррозия согласно ГОСТ 9.602-2005) снижается анодный ток стали в грунте.

При увеличении удельного сопротивления грунта более 50 Ом·м (слабая коррозия согласно ГОСТ 9.602-2005) процесс коррозии протекает медленно, что так же находится в полном соответствии с ГОСТ 9.602-2005.

Расчет токов коррозии поверхности U-образных болтов оттяжек опор воздушных линий с учетом образования «воронки» аэрации. На самом же деле, благодаря наличию вибрации оттяжек опор под действием ветра, вокруг U-образных болтов образуется «воронка», которая существенно увеличивает глубину проникновения кислорода и расширяет катодную зону U-образных болтов. В результате глубина аэрации возрастает до 1,2-1,5 м, а в более сухих грунтах и до 1,8-1,9 м.

Таблица 1 – Токи коррозии U-образного болта ВЛ при различных удельных сопротивлениях грунта (при сопротивлении поляризации 3 Ом; длине катодного электрода 0,5 м; длине анодного электрода 2,5 м и диаметре электродов 0,018 м)

№	Наименование электрода	Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Сопротивление растеканию электрода, Ом	Собственное сопротивление, Ом	Взаимное сопротивление электродов, Ом	Электродный потенциал, В	Ток коррозии, мА	Компромиссный потенциал системы электродов, В
1	катод	100	369,777	372,78	36,95	-0,08	0,205	-0,149
	анод		2480,588	2483,59	286,50	-0,65	-0,205	



Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма расчета коррозионных токов многоэлектродной заземляющей системы

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Продолжение таблицы 1

№	Наименование электрода	Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Сопротивление растеканию электрода, Ом	Собственное сопротивление, Ом	Взаимное сопротивление электродов, Ом	Электродный потенциал, В	Ток коррозии, мА	Компромиссный потенциал системы электродов, В
2	катод	50	184,888	187,89	18,47	-0,08	0,409	-0,149
	анод		1240,294	1243,29	143,25	-0,65	-0,409	
3	катод	25	92,444	95,44	9,24	-0,08	0,814	-0,150
	анод		620,147	623,15	71,63	-0,65	-0,814	
4	катод	15	55,466	58,47	5,54	-0,08	1,349	-0,151
	анод		372,088	375,09	42,98	-0,65	-1,349	
5	катод	10	36,978	39,98	3,69	-0,08	2,010	-0,153
	анод		248,059	251,06	28,65	-0,65	-2,010	
6	катод	5	18,489	21,49	1,85	-0,08	3,936	-0,157
	анод		124,029	127,03	14,33	-0,65	-3,936	
7	катод	3	11,093	14,09	1,11	-0,08	6,383	-0,163
	анод		74,418	77,42	8,60	-0,65	-6,383	

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Токи коррозии U-образного болта ВЛ при различных удельных сопротивлениях грунта с учетом образования «воронки» аэрации (при сопротивлении поляризации 3 Ом; длине электродов 1,5 м и диаметре электродов 0,018 м)

№	Наименование электрода	Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Сопротивление растеканию электрода, Ом	Собственное сопротивление, Ом	Взаимное сопротивление электродов, Ом	Электродный потенциал, В	Ток коррозии, мА	Компромиссный потенциал системы электродов, В
1	катод	100	1368,053	1371,05	148,39	-0,08	0,233	-0,365
	анод		1368,053	1371,05	148,39	-0,65	-0,233	
2	катод	50	684,027	687,03	74,20	-0,08	0,465	-0,365
	анод		684,027	687,03	74,20	-0,65	-0,465	
3	катод	25	342,013	345,01	37,10	-0,08	0,926	-0,365
	анод		342,013	345,01	37,10	-0,65	-0,926	
4	катод	15	205,208	208,21	22,26	-0,08	1,533	-0,365
	анод		205,208	208,21	22,26	-0,65	-1,533	
5	катод	10	136,805	139,81	14,84	-0,08	2,281	-0,365
	анод		136,805	139,81	14,84	-0,65	-2,281	
6	катод	5	68,403	71,40	7,42	-0,08	4,454	-0,365
	анод		68,403	71,40	7,42	-0,65	-4,454	
7	катод	3	41,042	44,04	4,45	-0,08	7,199	-0,365
	анод		41,042	44,04	4,45	-0,65	-7,199	

Анализ результатов проведенных расчетов показал: образование «воронки» около к U-образных болтов за счет вибрации оттяжек приводит к увеличению коррозии нижней части болта.

Выводы:

1 Расчет токов коррозии элементов заземляющих систем опор воздушных линий совпадает с качественной оценкой опасности коррозии по ГОСТ 9.602-2005.

2 Образование «воронки аэрации» вокруг U-образных болтов усиливает коррозию в нижней части болта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: высоковольтная линия, коррозия, анкерный узел, оттяжка
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кузнецов Алексей Юрьевич, ст. преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Пичугин Константин Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Герасименко Андрей Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Демин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Алаев Евгений Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ВЛИЯНИЕ ОТСТУПЛЕНИЙ ОТ НОРМ СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ НА ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ ТЕЛА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И УСТОЙЧИВОСТЬ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

А.С. Сапов

INFLUENCE OF ABERRATION OF RAILWAY TRACK CONTENT STANDARD SPECIFICATIONS ON MATERIAL STRENGTH OF FOUNDATION AND RAILWAY POLE STABILITY

«Far East state university of means of communication»

A.S. Sapov

On the railroad current practice of foundation proportion increasing by force of different ballast material covers and railway track offsetting on specified position have negative influence on foundation slopes' strength. It is shown at the article how aberration of railway track content interacts on material strength of railway embankment and railway poles stability.

Keywords: ballast bed, increase, railway track, offsetting, stability factor, railway pole landslip pressure, statics, dynamics

Существующая на железной дороге практика увеличения размеров земляного полотна путем присыпок различными балластными материалами, а также смещение оси пути от проектного положения отрицательно влияют на прочность откосов земляного полотна. В статье показано, как отступление от норм содержания пути влияет на прочность грунтов железнодорожной насыпи и устойчивость опор контактной сети.

В результате длительной эксплуатации грунты земляного полотна, воспринимающие нагрузку от собственного веса и проходящих поездов, подвергаются изменениям, которые приводят к снижению прочностных характеристик грунтов и, следовательно, к уменьшению прочности и устойчивости сооружений.

Для обеспечения устойчивости пути при его текущем содержании в процессе эксплуатации обочины земляного полотна отсыпают малоценными балластными материалами. В процессе выгрузки их укладывают с откосом, более крутым, чем откос насыпи.

Многие из высопок насыпей дают постепенную усадку из-за недостаточного уплотнения при строительстве и оседания основания. Для поддержания пути на заданных отметках его периодически поднимают на дополнительный слой балласта. При этом требуемого уширения основной площадки достигают также за счет присыпок [1].

Следует отметить, что из-за больших трудозатрат зачастую после подъема пути не производится постановка его на ось. Вследствие этого происходит уширение верхней площадки земляного полотна и увеличение междупутного расстояния, которое становится больше нормативного.

В результате периодических подъемов пути при проведении планово-предупредительных, капитальных работ и досыпок для увеличения размеров земляного полотна появляются мощные балластные шлейфы.

Такой слой хорошо пропускает атмосферные осадки, препятствует их испарению, удерживает большое количество влаги, что способствует дополнительному увлажнению верхних слоев глинистого грунта. Увеличение влажности грунта приводит к снижению прочностных и деформативных свойств, уменьшению устойчивости земляного полотна и повышению оползневого давления на опоры контактной сети.

Существенное смещение оси пути от проектного положения резко меняет величину силового воздействия откосов земляного полотна на фундаментную часть опор контактной сети, тем более возрастающего при прохождении поездов.

Для оценки вышеназванных явлений был произведен расчет коэффициентов устойчи-

ности и оползневого давления грунта с учетом воздействия поездной нагрузки. Использовался метод профессора Г.М. Шахунянца [2], предложения профессора Н.В. Прокудина [3] и полученные данные распространения волн амплитуд вибро смещений частиц грунта в насыпях в летний период [4]. Расчет был произведен на ЭВМ.

Исходными данными для расчета явились следующие величины: отметки точек очертания насыпи и расстояния между ними; координаты величин столбиков эквивалентной нагрузки; характеристики грунтов тела и основания земляного полотна по слоям; координаты точек перелома поверхности смещения; показатели вибродинамической нагрузки снижения прочностных свойств грунта.

По результатам расчетов выдаются следующие данные: ширина отсека в метрах; угол наклона поверхности смещения; прочностные характеристики грунта по поверхности смещения отсека (сцепление, угол внутреннего трения); оползневое давление (расчетное и реальное); коэффициент устойчивости откоса.

Расчеты для поперечного профиля выполнены по двум вариантам. Первый – положение начала кривой обрушения постоянно, второй – переменное, смещение происходит вместе со сдвижкой рельсошпальной решетки, а значит и от нагрузки от поездов.

Результаты расчетов представлены на рисунке 1 и 2.

На рисунке 1 приведена зависимость коэффициента устойчивости от величины смещения оси пути Δe . Нулевому смещению соответствует положение осей путей согласно ПТЭ железных дорог. Увеличение Δe характеризует сдвиг оси пути в полевую сторону.

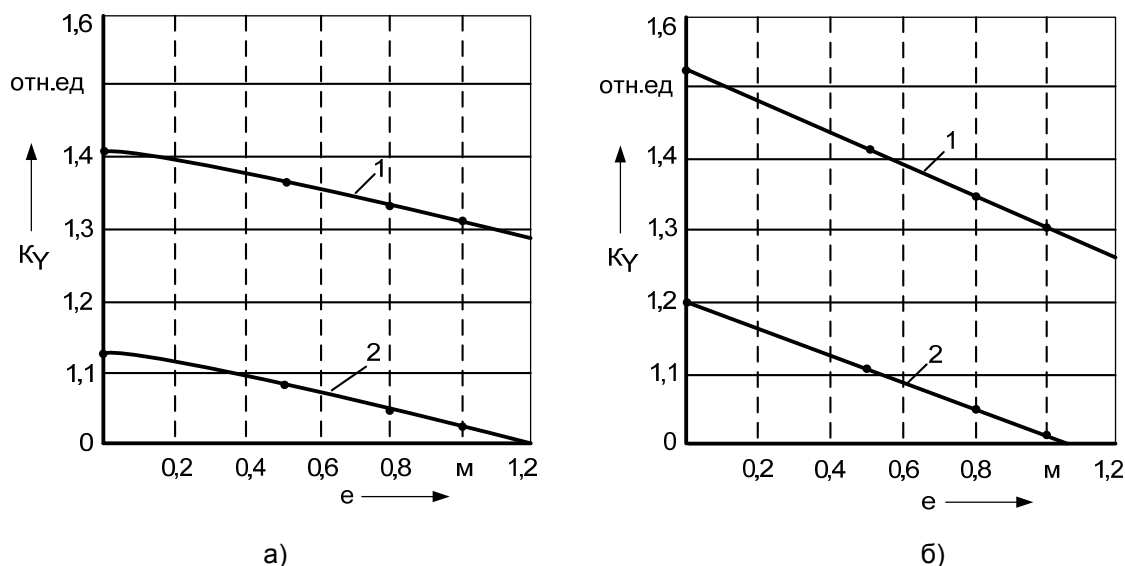


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента устойчивости от величины смещения оси пути: а)-положение кривой обрушения постоянно; б)-положение кривой обрушения изменяется (1-статика, 2-динамика)

Если принять коэффициент устойчивости за 100% при нормальном положении оси пути, то смещение на 1 м снижает устойчивость до 93,7% без учета и до 91,2% с учетом воздействия движения поездов. При этом величина коэффициента приближается к 1,0-состоянию предельного равновесия между сдвигающими и удерживающими силами.

Более резкий характер снижения коэффициента устойчивости K_γ имеет место, когда кривая обрушения смещается вместе с рельсошпальной решеткой (рисунок 1б). В процентном отношении снижение достигает 85,5% при статическом и 84,7% при динамическом расчете.

Сравнение значений K_γ при статическом и динамическом расчете дает дополнительное уменьшение устойчивости на 25,5-28,3% и на 27,2-28,3% при учете движения поездов. Поэтому применение в статических расчетных схемах коэффициента запаса величиной 1,2 часто не обеспечивает стабилизацию деформирующихся объектов.

Необходимо отметить, что коэффициент K_γ характеризует устойчивость всего откоса насыпи. Устойчивость опор во многом зависит от величины оползневого давления, передающегося от вышерасположенных грунтов. На рисунке 2 показаны графики изменения расчетного (с учетом коэффициента запаса) оползневого давления при рассмотренных выше

условиях.

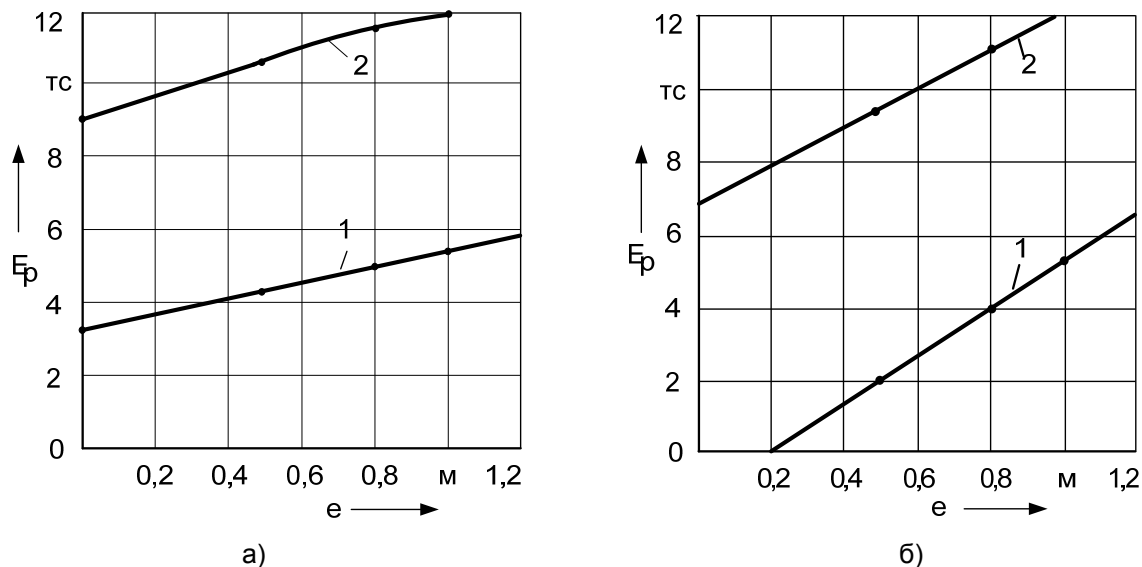


Рисунок 2 – Изменение расчетного оползневого давления грунта на опору от величины смещения оси пути: а)-положение кривой обрушения постоянно; б)-положение кривой обрушения изменяется (1-статика, 2-динамика)

При смещении оси пути от проектного положения отмечается значительный рост оползневого давления. Так, при статическом расчете, оно усиливается от 3,2 кН до 5,3 кН (на 65%) при смещении оси пути на 1,0 м; при динамическом – от 8,9 кН до 12,2 кН (на 37%) в первом варианте, а во втором варианте соответственно с 0,92 кН до 5,3 кН и с 6,75 кН до 12,35 кН (на 83%).

Таким образом, мероприятия, направленные на «оздоровление» балластной призмы не всегда приводят к положительным результатам. Поэтому решение проблемы устойчивости земляного полотна и опор контактной сети должно осуществляться комплексно дирекциями инфраструктуры и проектными организациями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Фришман, М.А. Земляное полотно железных дорог / М.А. Фришман, И.Н. Хохлов, В.П. Титов. -М.: Транспорт, 1972. - 288 с.
- 2 Шахунянц, Г.М. Железнодорожный путь / Г.М. Шахунянц. -М.: Транспорт, 1987. -479 с.
- 3 Прокудин, И.В. Устойчивость откосов земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку / И.В. Прокудин // Трансп. стр-во. -1980. -№12. -С. 37-39.
- 4 Разработка способов выправки и закрепления опор контактной сети на деформируемых откосах земляного полотна: отчет о НИР / Хабар. ин-т инженеров ж.-д. трансп.; рук. В.Н. Ли. -Хабаровск: ХаБИИЖТ, 1995. -52 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: балластный слой, увеличение, ось пути, смещение, коэффициент устойчивости, оползневое давление на опоры, статика, динамика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Сапов Александр Сергеевич, преподаватель ФГБОУ ВПО «ДВГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 680002, г. Хабаровск, ул. Серышева 47, ФГБОУ ВПО «ДВГУПС»

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА РЕЛЬСОСВАРОЧНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Д.В. Величко

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE PRODUCTION OF RAIL PRODUCTS AT RAIL WELDING ENTERPRISE
 «Siberian state transport university»

D.V. Velichko

Presents technical and economic feasibility of production of rail products in the RSP. Evaluating the effectiveness of the production of rails and continuous rails from new and repaired materials.

Keywords: rails, continuous rails, railway track, welding, feasibility study

Представлены технико-экономические обоснования эффективности изготовления рельсовой

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

продукции на рельсосварочном предприятии (РСП). Дана оценка эффективности изготовления рельсов и бесстыковых плетей из новых и старогодных материалов.

Объемы изготовления рельсовой продукции. На РСП-29 (ст. Промышленная) выполняются работы по сварке бесстыковых плетей (800 м) и одиночных рельсов (25 м), как из старогодных так и из новых материалов (таблица 1).

Таблица 1 – Объемы изготовления рельсовой продукции

Вид продукции	Заказ (план) / изготовление (факт), км				
	2005	2006	2007	2008	2009
Плети из новых материалов	479/482	420/490,4	525/569,9	560/577,7	343/343,2
Плети из старогодных материалов	106/133	119/131,7	95/107,1	162/135	149/110,1
Рельсы из новых рубок	-/26	-/11,4	-/7,1	-/8,7	-/5,6
Рельсы из старогодных рубок	80/126	80/158,4	80/135,9	80/120,4	80/89,4
Всего:	665/767	619/791,9	700/820	802/841,8	572/548,3

Плановые объемы заказа от Западно-Сибирской железной дороги не всегда совпадает с фактическим объемом изготовления РСП-29, не выполнение заказа по изготовлению старогодных плетей связано с несвоевременное поступление материала в связи с уменьшением объема капитальных работ, вызванного последствиями экономического кризиса.

Этими же причинами объясняется значительное снижение объемов заказа на изготовление плетей как из старогодных (в 1,1 раза), так и из новых (в 1,6 раза) материалов, а общее снижение производства РСП составила за последний год порядка 53% с 842 км до 548 км.

После выполнения сварочных работ в РСП выполняется выходной контроль сварных стыков (рисунок 1). Распределение дефектов сварки в элементах рельса, по дефектам в головке (код 26.3), в шейке (код 56.3), в подошве (код 66.3) представлены на рисунке 2.

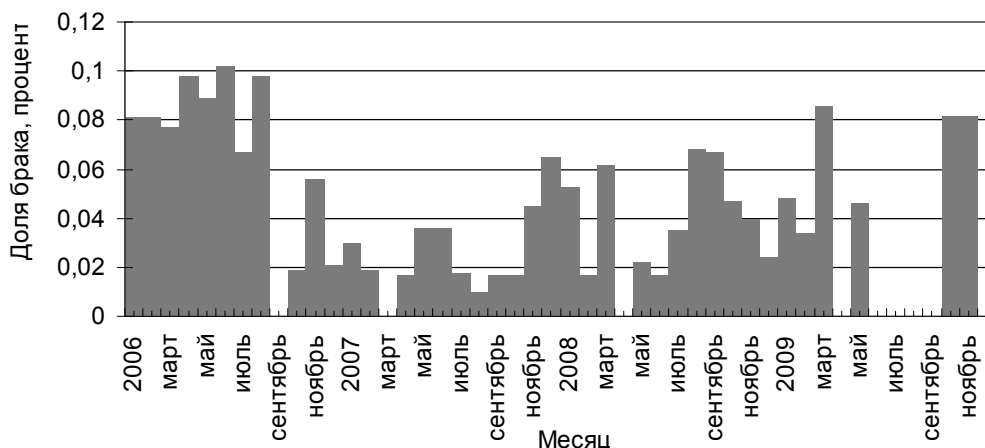


Рисунок 1 – Доля бракованных сварных стыков

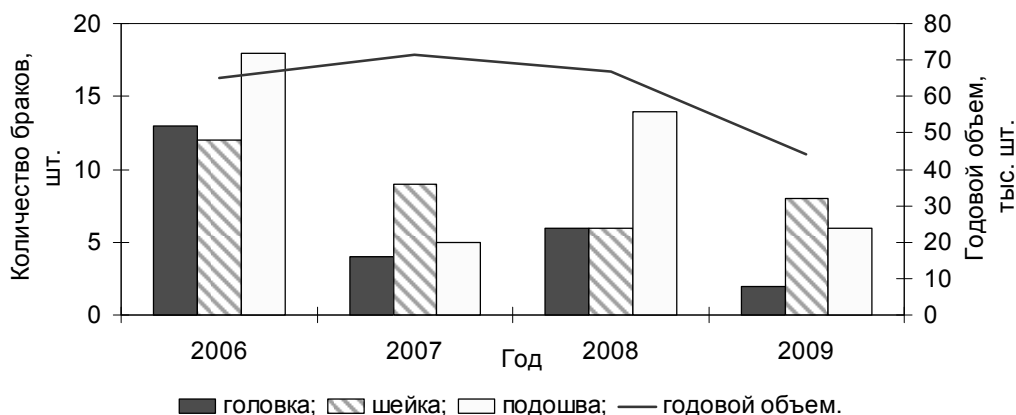


Рисунок 2 – Распределение дефектов сварки в элементах рельса

За последние годы среднегодовое значение брака сварных стыков уменьшилось в 1,8 раза, с 0,066% до 0,036%, при годовых объемах работ 44-72 тыс. стыков. Такое существенное снижение дефектности сварки определяется уменьшением браков по всем трем элементам рельса, максимальное средневзвешенное снижение дефектности наблюдается в головке рельса – в 4,44 раза.

- Оценка эффективности изготовления рельсовой продукции выполняется по двум видам:
- рельсов длиной 25 м из новых и старогодных рубок;
 - бесстыковых плетей из новых и старогодных рельсов.

Изготовление рельсов из рубок. Техничко-экономическое сравнение затрат по двум вариантам изготовления 25 м рельсов: 1 вариант – из новых рубок; 2 вариант – из старогодных рубок.

По первому варианту технологический процесс включает в себя производство рельсов из обрезков оставшихся от изготовления длиномерных плетей, и их сварки в 25 м рельсы. Обрезки поучаются от длиномерных рельсовых плетей, когда на РСР приходит заказ на плети длиной в перегон, и делают обрезку под длину заказа.

По второму варианту рассматривается технологический процесс по изготовлению 25 м рельсов из обрезков старогодных рельсов, оставшихся после выявления браков.

В процессе расчетов стоимости материальных затрат по вариантам учитывался широкий спектр факторов: расходные материалы и инструменты (шлифовальные круги, пилы, сверла, обтирочный материал, транспортно-заготовительные расходы). При расчете стоимости трудовых затрат – повременная оплата с учетом тарифных ставок рабочих занятых не только на технологическом изготовлении рельсовой продукции, но и дефектоскопии, комплектовании и т.д., учитывались районный коэффициент, выслуга лет, премии и надбавки.

Себестоимость изготовления рельсов по 1 варианту (из новых рубок) – 140,6 тыс. руб./км; 2 вариант (из старогодных рубок) – 102,9 тыс. руб./км.

Изготовление бесстыковых плетей. Выполним технико-экономическое сравнение затрат по двум вариантам изготовления бесстыковых рельсовых плетей: 1 вариант – из новых рельсов; 2 вариант – из старогодных рельсов.

Для изготовления новых плетей используют новые одиночные рельсы длиной 25 м которые поступают на РСР из металлургических комбинатов.

Для изготовления старогодных плетей, используются старогодные рельсы которые поступают на РСР, они профилируются устраняются дефектности и только после этого из них изготавливаются бесстыковые плети.

В процессе расчетов стоимости материальных затрат по вариантам учитывался широкий спектр факторов: расходные материалы и инструменты (шлифовальные круги, пилы, сверла, обтирочный материал, транспортно-заготовительные расходы). При расчете стоимости трудовых затрат учитывались технологические операции: подача рельсов под сварку, обрезка рельсовых концов, электроконтактная сварка, термообработка и шлифовка сварного стыка, обработка сварного стыка на ПШК «Жейсмар», доставка до места укладки спецсоставом, дефектоскопия, комплектование и т.д., учитывались тарифные ставки, районный коэффициент, выслуга лет, премии и надбавки.

Себестоимость изготовления бесстыковых плетей по 1 варианту (из новых рельсов) – 98,5 тыс. руб./км; 2 вариант (из старогодных рельсов) – 102,4 тыс. руб./км.

Для дальнейшего сравнительного анализа сведём в таблицу 2 полученные ранее затраты на изготовление рельсовой продукции.

Таблица 2 – Стоимость изготовления продукции

Вид продукции	Стоимость затрат на изготовление, тыс. руб./км / доля затрат, %		Всего с учётом полного комплекса отчислений, тыс. руб./км
	материальные	трудовые	
Плети из новых материалов	2,9/11,6	22,4/88,4	98,6
Плети из старогодных материалов	13,2/36,2	23,3/63,8	102,4
Рельсы из новых рубок	10,7/34,3	20,6/65,7	102,9
Рельсы из старогодных рубок	11,5/28,5	28,8/71,5	140,6

Изготовление бесстыковых плетей и рельсов из старогодных материалов требуется больше трудовых и материальных затрат (без учёта стоимости рельсового материала), чем при изготовлении из новых материалов, так эта разница на изготовление старогодных пле-

тей составляет 3%, а на изготовление старогодных рельсов 36%.

Сравнивая процентные доли материальных и трудовых затрат видно, что материальные расходы на изготовление старогодных плетей более чем в 3 раза превышают материальные расходы по изготовлению новых плетей, однако трудовые затраты по изготовлению новых плетей выше в 1,4 раза.

При изготовлении рельсов наблюдается обратная картина – материальные расходы на новые рельсы в 1,2 раза больше чем на старогодные, а трудовые затраты на изготовление старогодных рельсов в 1,1 раз превышает трудовые затраты на новые.

При подведении итогов расчётов в таблице 2 не учитывается стоимость рельсового материала, которая играет очень важную роль и во многом определяет конечную стоимость продукции:

Стоимость новых рельсов Р65: 14569 руб./т, что составляет – 941,7 тыс. руб./км.

Стоимость старогодных рельсов Р65: 1 группа – 5099,2 руб./т – 329,6 тыс. руб./км; 2 группа – 4370,7 руб./т – 282,5 тыс. руб./км; 3 группа – 3642,3 руб./т – 235,4 тыс. руб./км.

Итоговые данные по стоимости продукции РСР, с учётом полного комплекса отчислений и стоимости рельсов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Итоговая стоимость рельсовой продукции

Вид продукции	Всего, тыс. руб./км) / доля итоговой стоимости, %	Стоимость рельсов		Итого, млн. руб./км
		руб./т	тыс. руб./км	
Плети из новых материалов	98,57/9,5	14569,0	941,7	1,04
Плети из старогодных материалов	102,44/36,3	4370,7	282,5	0,28
Рельсы из новых рубок	102,87/9,8	14569,0	941,7	1,04
Рельсы из старогодных рубок	140,57/33,2	4370,7	282,5	0,42

Влияние стоимости рельсового материала на конечную стоимость рельсовой продукции РСР весьма существенно и составляет порядка 90% при изготовлении из новых рельсов и 75% при изготовлении из старогодных рельсов.

Материальные расходы на изготовление старогодных плетей более чем в 3 раза превышают материальные расходы по изготовлению новых плетей, в тоже время стоимость трудовых затрат по изготовлению новых плетей выше в 1,4 раза.

Стоимость рельсов изготовленных РСР из новых рубок на 10% превышает стоимость рельсов производства металлургических комбинатов, однако с точки зрения ресурсосбережения эти затраты абсолютно оправданны.

Итоговая стоимость бесстыковых плетей из старогодных материалов в 3,7 раза дешевле плетей из новых материалов, а стоимость рельсов из старогодных материалов в 2,5 раза дешевле рельсов из новых. Однако, плети из новых рельсов имеют преимущества по техническим характеристикам, новый металл меньше подвержен дефектности, обеспечивается значительно больший срок службы, снижаются амортизационные и эксплуатационные затраты. В связи с этим, необходимо оценивать весь жизненный цикл продукции и определять экономически рациональные сферы применения старогодных рельсовых плетей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *рельсы, бесстыковые плети, железнодорожный путь, сварка, технико-экономическое обоснование*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Величко Дмитрий Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ

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

Т.В. Иванова, Д.Г. Налабордин

THE STRATEGY OF THE TECHNICAL CONTENT OF FREIGHT CARS IN SERVICE ON THE BASIS OF CONTROLLED MARKOV PROCESSES

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

T.V. Ivanova, D.G. Nalabordin

The article presents a mathematical approach to determine the level of technical content of freight cars. Based on controlled Markov sequences and the Bellman equation is obtained allowed the total number of failures of freight cars during the total time during its service life.

Keywords: reliability, rolling stock, the number of failures, the Bellman equation

Рассмотрен математический подход к определению уровня технического содержания грузовых вагонов. На основе управляемых марковских последовательностей и уравнения Беллмана получено допустимое суммарное число отказов грузовых вагонов за время суммарной наработки в течение назначенного срока службы.

Для каждого типа вагонов, выпускаемых промышленностью, установлены нормируемые показатели надежности, при достижении которых обеспечивается минимальная стоимость выполнения заданных ими функций, включая затраты на повышение надежности при разработке, постройке и восстановлении работоспособности при всех видах ремонта и технического обслуживания.

Общая переменная часть стоимости «С», непосредственно связана с надежностью вагонов, может быть определена из выражения

$$C = C_{\text{э}} + C_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{э}}$ – дополнительные затраты на техническое обслуживание вагона, зависящие от его надежности;

$C_{\text{пр}}$ – стоимость производства, обусловленная затратами на повышение надежности при разработке и постройке вагона.

С повышением надежности первая составляющая вышеуказанного выражения имеет тенденцию к снижению, а вторая – к возрастанию в связи с дополнительными затратами на мероприятия по повышению надежности при проектировании и постройке вагона. Общая стоимость должна иметь минимум, которому соответствует оптимальное значение показателя надежности $P_{\text{опт}}$.

В качестве составляющей стоимости эксплуатации, зависящей от надежности, можно принять стоимость всех отказов вагона в течение срока его службы, включая стоимость его ремонта, запасных частей и материалов, содержания ремонтного персонала, затрат связанных с маневровыми работами, задержкой грузов и др.

Ожидаемое количество случайных ремонтов вагонов в зависимости от их надежности можно определить по формуле

$$P(t) = \exp\left[-\frac{t}{T(V)}\right] = \exp\left(-\frac{nt}{T_P}\right), \quad (2)$$

где n – число отказов за время суммарной наработки;

T_P – расчетная продолжительность эксплуатации вагонов (срок службы или межремонтный период).

Тогда число отказов за время суммарной наработки будет равно:

$$n = -\frac{T_P}{t} \ln P(t). \quad (3)$$

Соответственно дополнительные затраты на техническое обслуживание вагонов можно представить в виде произведения ожидаемого числа отказов за определенный период работы на среднюю стоимость устранения одного отказа C_1 , будет равна

$$C_{\text{э}} = C_1 n \text{ или } C_{\text{э}} = -C_1 \cdot \frac{T_P}{t} \ln P(t). \quad (4)$$

Из формулы (4) очевидно, что эксплуатационные затраты, напрямую, зависят от числа отказов вагонов в течение срока его службы.

В мировой практике для оценки эффективности приобретения сложных технических изделий производственного назначения все более широко применяется методика оценки стоимости жизненного цикла (СЖЦ). Фактическая данная методология представляет собой формирование бизнес-плана приобретения и эксплуатации отдельного технического изделия или группы изделий с глубиной прогнозирования, охватывающей весь срок их эксплуатации.

Особенностью применения методологии СЖЦ позволяет уйти от затратных методов ценообразования, но требует проведения обширных исследований по определению взаимосвязи между техническими характеристиками подвижного состава и экономическими показателями.

телями его эксплуатации.

По мере старения вагона происходит постепенное накопление повреждений в его конструкции. С помощью ремонтов различного уровня типа происходит либо полное их устранение (путем замены отказавших деталей), либо частичное, что приводит не только к замедлению темпов деградации конструкции, но и к накоплению неустраняемых при ремонтах повреждений. Главным здесь является эксплуатационная информация о динамике деградации конструкции по мере их старения. Поскольку подходящих способов непосредственной количественной оценки упомянутой динамики на сегодняшний день не существует, то в технике принято ее измерять с помощью фиксации изменения затрат на ремонты различного типа.

Для этого необходимо осуществлять калькулирование, протоколирование и занесение в компьютерную сеть отрасли значений фактических затрат (в отраслевую систему централизованного пономерного учета вагонов) на ремонт каждого вагона. Без этих данных невозможно, в конечном счете, построить интеллектуальную систему управления вагонным хозяйством, которая основана на научных методах.

Естественно, что в идеале функция эксплуатационных затрат должна стремиться к минимуму. Однако, на практике не ведется учет эксплуатационных издержек от внеплановых ремонтов грузовых вагонов в течение назначенного срока службы. В связи с чем, целесообразно рассматривать стратегию технического содержания грузового вагона в эксплуатации на основе управляемых марковских процессов.

Под стратегией технического содержания грузового вагона будем понимать мониторинг технического состояния и совокупность видов технического обслуживания и ремонта, направленных на поддержание работоспособности подвижного состава, при своевременном и качественном проведении которых число отказов вагона за назначенный срок службы не превысит установленного «критического» значения. Под «критическим» числом отказов понимается суммарное число отказов с начала эксплуатации объекта, после достижения, которого необходимо принять решение о целесообразности его дальнейшей эксплуатации.

Предположим, что вагон в течение назначенного срока службы отказывает (отцепляется в текущий ремонт) « n » раз. Необходимо остановить процесс эксплуатации технического средства в определенный момент времени (при достижении соответствующего числа отказов) по оптимальной марковской стратегии [1]. Процесс осложняется тем обстоятельством, что, отсутствует информация о кумулятивной стоимости текущих (неплановых) ремонтов вагона с начала эксплуатации и общем (ожидаемом) числе отказов за назначенный срок службы.

Ограничимся процедурами осмотра следующего типа. Пусть $\xi(0) = 1$ – первая отцепка в эксплуатации. Она либо принимается, либо отвергается. Естественно, что в первую половину срока службы вагона никто не будет задумываться о частоте отцепок вагона в межремонтных периодах и о накопленной частоте отказов с начала эксплуатации. Да и число отказов (пока изделие новое) будет не столь велико.

Если выбор останавливается на k -ой по счету отцепке, то вероятность $W(k)$ того, что данное решение является наиболее оптимальным из всех, равна k/n (где n – число всех отцепок за срок службы вагона). Если очередная отцепка является «критической» после k отцепок, то есть $\xi(t) = k$, то принимается решение остановить на ней дальнейший процесс эксплуатации объекта. Если же в зависимости от $\xi(0) \dots \xi(t-1)$ принимается решение продолжать эксплуатацию объекта, то вероятность того, что следующая отцепка будет на j -ом шаге, (то есть $\xi(t) = j$), есть

$$p(k, j, d) = \begin{cases} 0, & \text{если } d = \text{принять } k\text{-ю отцепку;} \\ \frac{k}{(j-1)j}, & \text{если } d = \text{продолжать эксплуатацию.} \end{cases} \quad (5)$$

Средний выигрыш при выбранной стратегии $d^{[0, \infty]}$ есть

$$V(d^{[0, \infty]}) = MW[\xi(t)]. \quad (6)$$

где $\xi(\tau)$ – порядковый номер принимаемой отцепки.

Момент обрыва τ не превосходит n , так что существует оптимальная стратегия, при

которой средний выигрыш равен цене

$$V = \max_{d^{[0, \infty]}} V(d^{[0, \infty]}). \quad (7)$$

Обозначим символом $V(k)$ цену при условии, что были отвергнуты первые $(k-1)$ отцепок, а очередная k -ая отцепка оказалась «критической» из всех предшествующих. Если эта отцепка является последней $k = n$ за назначенный срок службы, то по условию она является «критической» и принимается

$$V(n) = W(n) = 1. \quad (8)$$

Пусть m_n – такое число, что при появлении «критической» по счету отцепки с очередным номером $\xi(t) \geq m_n$ эта отцепка обязательно принимается и процесс эксплуатации останавливается (такое число $n \geq m_n$, очевидно, существует). Тогда цена $V(k)$ при $k \geq m_n$ есть

$$V(k) = W(k) = k/n. \quad (9)$$

Уравнение Беллмана позволяет определить число m_n . Именно, для $k \geq m_n$

$$V(k) = \max \left\{ W(k), \sum_{j=k+1}^n p(k, j) V(j) \right\}; \quad (10)$$

$$p(k, j) = \frac{k}{(j-1)j}; \quad j > k,$$

где m_n – есть наименьшее целое число k , для которого

$$\sum_{j=k+1}^n p(k, j) V(j) = \frac{k}{n} \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{k+1} + \dots + \frac{1}{n-1} \right) \leq W(k) = \frac{k}{n}, \quad (11)$$

то есть

$$\frac{1}{k} + \frac{1}{k+1} + \dots + \frac{1}{n-1} \leq 1. \quad (12)$$

Если выбор остановить на отцепке с порядковым номером $k < m_n$, то средний выигрыш от эксплуатации вагона окажется меньше, чем, если эту отцепку не принять и дальше выбирать по оптимальной стратегии. Таким образом, оптимальная стратегия заключается в том, что сначала анализировать первые $m_n - 1$ отказов вагона, а затем при наступлении следующего отказа принимать решение о возможности дальнейшей эксплуатации вагона.

При больших n число m_n приблизительно равно $n/3$ или точнее

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m_n}{n} = \frac{1}{e}. \quad (13)$$

Таким образом, получено допустимое с точки зрения управляемых марковских последовательностей число отказов грузового вагона в процессе эксплуатации, после превышения, которого необходимо рассматривать целесообразность его эксплуатации. Другими словами, используя выражения (3) и (4), получаем

$$n_{кр} = -\frac{T_p}{t \cdot e} \ln P(t), \quad (14)$$

$$C_э = -C_1 \cdot \frac{T_p}{t \cdot e} \ln P(t). \quad (15)$$

Необходимо отметить, что на основе отраслевых информационных данных системы ДИСПАРК статистическими методами можно определить фактическое среднее число отказов вагона за назначенный срок службы.

Данная методика позволяет установить критерий уровня технического состояния грузовых вагонов в эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Прохоров, Ю.В. Теория вероятностей. Основные понятия, предельные теоремы, случайные процессы / Ю.В. Прохоров, Ю.А. Розанов. -М.: Наука, 1967. -496 с.
 2 ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. -М.: Изд-во стандартов, 1990. - 37 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: надежность, подвижной состав, число отказов, уравнение Беллмана
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванова Татьяна Владимировна, канд. техн. наук, доцент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»
 Налабордин Денис Геннадьевич, ассистент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 672040, г. Чита, пер. Магистральный, 11, ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ПУТЕЙ СОРТИРОВОЧНЫХ ПАРКОВ С УЧЕТОМ ПРОТАЛКИВАНИЯ ВАГОНОВ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.А. Климов, Т.И. Старостина

COMPLETION PROCESS MODELING OF CAR PUSHING AT SWITCH TRACKS

«Siberian state transport university»

A.A. Klimov, T.I. Starostina

The description of the mathematical model of completion process in switch tracks at the breaking-up of trains is presented, under dynamic loading incipient at impacting of the cars and car pushing.

Keywords: imitating modeling, breaking-up of trains, switch tracks, car pushing, impacting of cars

Представлено описание математической модели заполнения сортировочного пути при расформировании составов с учетом динамических нагрузок, возникающих при соударениях, и проталкивания вагонов вглубь парка.

Действующая методика проектирования сортировочных горок [1] основана на аналитических способах расчёта. При этом рассматривается маршрут скатывания отцепов до расчетной точки, устанавливаемой на расстоянии 50 м от стыка парковой тормозной позиции. Методик для оценки дальнейшего движения вагонов (около 1000 м) не предложено, сформулированы только требования к конструкции продольного профиля сортировочных путей. Однако при заполнении парка часть отцепов не докатываются до вагонов, стоящих на путях, что приводит к образованию «окон» и дополнительной маневровой работе. Также имеют место случаи соударения отцепов со скоростями, превышающими нормативные значения, что является нарушением условий безопасной эксплуатации. Указанные недостатки свидетельствуют об актуальности работы и вызывают необходимость совершенствования методов исследования процесса заполнения сортировочных парков при расформировании составов.

В данной работе объектом исследования является процесс заполнения сортировочных путей, предметом исследования -- процессы движения вагонов в сортировочном парке при расформировании составов. Целью работы является разработка математической модели движения вагонов в сортировочном парке для последующего построения имитационной модели процесса заполнения сортировочных путей.

Движение отцепа по сортировочному пути можно характеризовать как равнопеременное движение. При этом на скатывающийся отцеп действуют движущая сила F и сила сопротивления движению W , которые определяются по следующим формулам [2]:

$$F = mg'i \cdot 10^{-3}; \quad (1)$$

$$W = mg'w \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где m – масса, приходящаяся на одну ось вагона от общей массы отцепа, т;

w – сумма удельных сил сопротивления движению отцепа, Н/кН;

i – уклон участка, по которому движется отцеп, %;

g' – ускорение свободного падения с учетом влияния вращающихся частей вагонов, $м/с^2$.

Нагрузка на колесную ось зависит от типа вагона и равномерности распределения груза в вагоне. При имитационном моделировании используется вагон с равномерной нагрузкой на ось.

Масса, приходящаяся на одну ось вагона, определяется по формуле

$$m_i = \frac{M_i}{n}, \quad (3)$$

где M – масса отцепа, т;

n – количество осей в отцепе.

Величина g' рассчитывается по формуле

$$g' = \frac{g}{1 + 0,42 \frac{1}{m}}, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, равно $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Скатывание отцепа по сортировочному пути можно описать при помощи закона сохранения энергии – изменение кинетической энергии движущегося отцепа равно работе сил, действующих на отцеп

$$\frac{mv_k^2}{2} - \frac{mv_n^2}{2} = mg' i \ell \cdot 10^{-3} - mg' w \ell \cdot 10^{-3},$$

где v_n, v_k – скорости движения отцепа в начале и конце участка, м/с;

ℓ – дальность пробега отцепа, м.

После математических преобразований формулы (5), получим

$$\ell = \frac{v_k^2 - v_n^2}{2g'(i - w)} 10^3. \quad (6)$$

При соударении в результате срабатывания поглощающих устройств, деформаций и нагревания тел, происходит частичная потеря начальной кинетической энергии. Согласно теореме Карно «кинетическая энергия, потерянная телами при неупругом ударе, равна кинетической энергии тел, соответствующей их потерянными скоростям» [3]

$$\Delta E = E_n - E_k = \frac{m_1(v_1 - v_k)^2}{2} + \frac{m_2(v_2 - v_n)^2}{2}, \quad (7)$$

где E_k – кинетическая энергия вагонов в конце удара;

v_k – скорость вагонов после соударения.

Так как принято, что один из отцепов находится в состоянии покоя, то уравнение (7) примет вид

$$\Delta E = E_i - \frac{m_1}{m_1 + m_2} E_i = \frac{m_1}{m_1 + m_2} E_i. \quad (8)$$

Потеря начальной кинетической энергии в большей степени происходит вследствие преобразования энергии в работу сил упругости при сжатии рам и кузовов вагонов, а также поглощения в амортизирующих устройствах автосцепного оборудования.

Чтобы выделить долю энергии, приходящуюся на деформацию самого вагона и груза, вводится коэффициент

$$\sigma_1 = \frac{2E_a}{E}.$$

Согласно исследованиям профессора Вершинского С.В. [4], энергия удара, приходящаяся на один аппарат, определяется по формуле

$$E_a = \frac{\sigma_1 m_1 m_2}{4(m_1 + m_2)} v_1^2, \quad (9)$$

где m_1, m_2 – соответственно масса движущегося вагона и масса вагона, находящегося в состоянии покоя;

v_1 – скорость вагона, движущегося по сортировочному пути.

Энергии, которую может воспринять аппарат, определяется по формуле

$$E = \frac{c\varphi(x^2 + 2xx_0)}{2}, \quad (10)$$

где c – жесткость комплекта пружин;

φ – коэффициент передачи, показывает во сколько раз сила сжатия аппарата превышает силу сжатия пружин, для аппарата Ш1-Тм $\varphi = 6,2$;

$x + x_0$ – величина сжатия пружин;

x_0 – величина начальной затяжки пружин.

Для вывода уравнений, определяющих работу фрикционного аппарата при соударении вагонов, энергия удара, приходящаяся на один аппарат приравнивается к величине энергии, которую может воспринять аппарат

$$2E_a = \sigma_1 E; \quad (11)$$

$$\frac{\sigma_1 m_1 m_2}{4(m_1 + m_2)} v_1^2 = \frac{c\varphi(x^2 + 2xx_0)}{2}. \quad (12)$$

После выполнения преобразований из уравнения (12) определяется скорость соударе-

ния вагонов, при которой произойдет полное сжатие фрикционного аппарата заданной энергоемкости E_n

$$v_a = \sqrt{\frac{4E_n(m_1 + m_2)}{\sigma_1 m_1 m_2}}. \quad (13)$$

При условии, что энергия удара, приходящаяся на вагон, не превышает энергоемкости аппарата, сила удара определяется по следующей формуле

$$T = \sqrt{\frac{\sigma_1 c \varphi m_1 m_2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)} + T_n^2}, \quad (14)$$

где T_n – сила начальной затяжки аппарата,

$$T_n = c \varphi x_0. \quad (15)$$

Для случая когда скорость соударения вагонов превышает скорость, при которой произойдет полное сжатие фрикционного аппарата заданной энергоемкости E_n , сила удара определяется по формуле

$$T_{\max} = \sqrt{T_a^2 + \frac{c_e m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)}(v_1^2 - v_a^2)}, \quad (16)$$

где T_a – сила удара, соответствующая моменту полного сжатия аппарата,

$$T_a = c \varphi (x + x_0). \quad (17)$$

На основе приведенного математического аппарата производится расчет сил соударения вагонов с учетом работы поглощающих устройств.

Длина свободного участка сортировочного пути, в пределах которого может следовать второй отцеп, определяется по формуле

$$l_{св} = l - l_{отц}, \quad (18)$$

где $l_{отц}$ – длина отцепа по осям автосцепок.

Расчетные схемы для определения длин участков проталкивания представлены на рисунках 1 и 2.

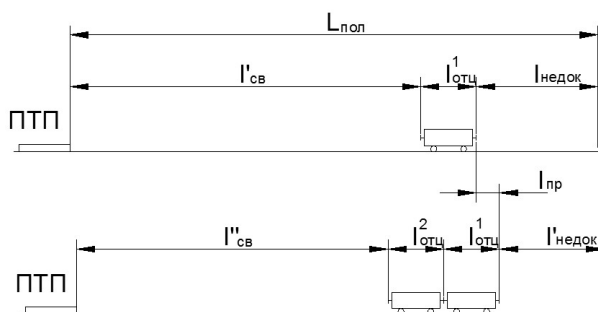


Рисунок 1 – Расчетная схема определения участка проталкивания при нахождении на сортировочном пути одного отцепа

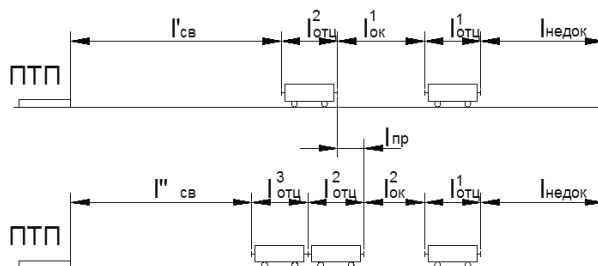


Рисунок 2 – Расчетная схема определения участка проталкивания при наличии «окна» между отцепами, находящимися на сортировочном пути.

На основании расчетных схем, представленных на рисунках 1 и 2, определим длину участка проталкивания

$$l_{пр} = l''_{св} - l'_{св} + l'_{отц}. \quad (19)$$

Указанные положения расчета будут использованы при разработке имитационной модели процесса заполнения сортировочных путей, которая в отличие от существующих моделей позволяет учитывать эффект проталкивания вагонов вглубь сортировочного парка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм / М-во путей сообщ. Рос. Федерации. -М.: Техинформ, 2003. -168 с.
- 2 Федотов, Н.И. Проектирование сортировочных горок: учеб. пособие / Н.И. Федотов; Новосиб. ин-т инженеров ж.-д. трансп. -Новосибирск: НИИЖТ, 1981. -84 с.
- 3 Яблонский, А.А. Курс теоретической механики. Ч.II. Динамика: учеб. для высш. техн. учеб. заведений / А.А. Яблонский. - М.: Транспорт, 1980. -185 с.
- 4 Расчет вагонов на прочность / С.В. Вершинский [и др.]; под ред. Л.А. Шадура. -Изд. 2-е. -М.: Машиностроение, 1971. - 432 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *имитационное моделирование, расформирование составов, сортировочные пути, сопротивление движению, соударение вагонов*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Климов Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Старостина Татьяна Иннокентьевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ ВАГОНОВ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ ПРИ РОСПУСКЕ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.А. Климов, А.А. Гунбин

MODELING OF CARS BREAKING-UP IN CUT FROM HUMP YARD

«Siberian state transport university»

A.A. Klimov, A.A. Gunbin

The description of the simulation model of cars breaking-up in cut from hump yard, under action of center coupler draft gear.

Keywords: simulation modeling, hump yard, cut resistance, cushion

Представлено описание имитационной модели роспуска отцепов из нескольких вагонов с сортировочной горки с учетом работы поглощающих аппаратов автосцепного устройства.

Согласно действующим Правилам и нормам проектирования сортировочных устройств, при скатывании с горки вагон рассматривается в виде материальной точки, что с одной стороны существенно упрощает процедуру расчета, с другой – приводит к погрешности в результатах.

Указанными подходами можно руководствоваться при оценке конструкции и технического оснащения сортировочных горок с использованием в расчетах характеристик только одиночных вагонов – расчетных бегунов. Доля таких отцепов для большинства сортировочных горок не превышает 50% отцепопотока. Очевидно, что для оценки скатывания с горки отцепов из нескольких вагонов необходимо использовать иные методы расчета.

В данной работе объектом исследования является сортировочная горка. Предметом исследования являются процессы скатывания с горки отцепов из нескольких вагонов. Целью работы разработка математической модели процесса скатывания отцепов из нескольких вагонов для последующего построения имитационной модели процесса.

Сортировочная горка рассматривается в виде массива элементов, содержащих данные об уклоне и длине участков, массивов с координатами расположения горочных устройств и их характеристик. При моделировании процесса скатывания отцепов из нескольких вагонов с сортировочной горки на основании данных о продольном профиле пути и расположении сортировочных устройств создается массив данных, который содержит список элементарных участков перемещения с описанием свойств каждого элемента.

Вагон в отцепе представляется в виде осевой модели, рисунок 1, что позволяет повысить точность расчетов в зонах действия сил управляемого и не управляемого сопротивления, поскольку силы сопротивления от стрелок и кривых, снега и инея и в активной зоне действия тормозных позиций оказывают точечное воздействие на колесную пару.

При движении по участку пути на каждый вагон в отцепе действует движущая сила F , которая зависит от уклона i , основная сила сопротивления движению W_0 и сопротивление

от среды и ветра W_{ce} . Нагрузка в вагоне распределяется по колесным осям q и раскладывается на движущую силу и давление на опору P , которая уравнивается реакцией опоры N . Методика расчета сил сопротивления приведена в [1].

Отцеп рассматривается как система взаимосвязанных вагонов, соединенных между собой нелинейными связями, а именно автосцепными устройствами. Основной новизной модели отцепа является возможность определения величины усилий в междувагонных соединениях при скатывании отцепа с горки.

Поскольку отдельно взятый вагон можно рассматривать как однородный жесткий стержень, то для удобства отображения информации проекцию всех сил, действующих на вагон можно перенести от оси колесной пары в центр массы вагона. Система вагон-вагон, должна учитывать появление разнонаправленных, равных по модулю сил реакции связи рисунок 2.

Согласно второму закону Ньютона взаимодействие сил в отцепе рассчитывается по формуле:

$$\sum_{i=1}^n m_i \bar{a} = \sum_{i=1}^n \bar{F}_{mi} + \sum_{i=1}^n \bar{F}_{\partial i} + \sum_{i=1}^n \bar{N}_i + \sum_{i=1}^n \bar{F}_{mpi}, \quad (1)$$

где n – количество вагонов в отцепе;

m_i – масса i -го вагона в отцепе;

\bar{a} – ускорение системы вагонов;

\bar{F}_{m_i} – сила тяжести i -го вагона в отцепе;

$\bar{F}_{\partial i}$ – движущая сила, приложенная к i -му вагону в отцепе;

\bar{N}_i – реакция опоры i -го вагона в отцепе;

\bar{F}_{mp_i} – сила сопротивления движению, создаваемая i -ым вагоном в отцепе.

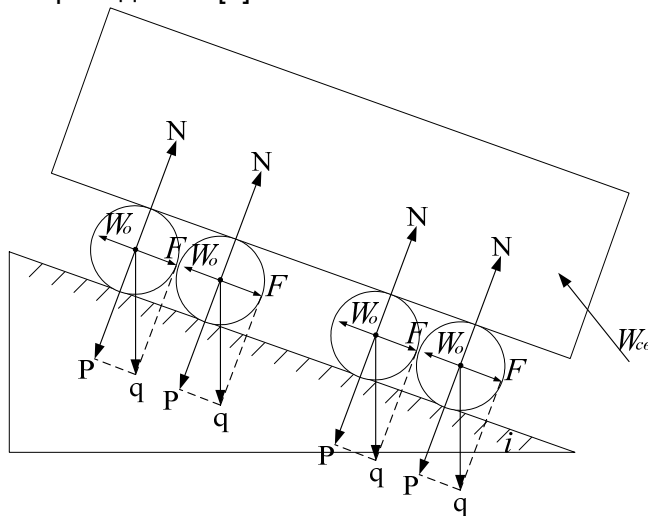


Рисунок 1 – Расчетная схема к определению движущей силы в осевой модели отцепа

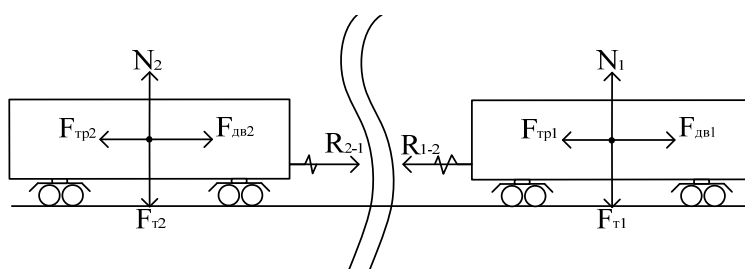


Рисунок 2 – Расчетная схема отцепа, с учетом усилий, возникающих в автосцепном устройстве

При проекции сил на ось скатывания формула принимает вид:

$$\sum_{i=1}^n m_i a = \sum_{i=1}^n F_{\partial i} - \sum_{i=1}^n F_{mp_i}. \quad (2)$$

В общем виде ускорение системы из вагонов можно определить по следующей формуле

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n m_i}. \quad (3)$$

Таким образом, формула определения силы реакции связи вагона принимает вид

$$R_i = F_i - m_i \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n m_i}; \quad i = 1; \quad (4)$$

$$R_i = F_i + R_{i-1} - m_i \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n m_i}; \quad i = 2, 3, \dots, n. \quad (5)$$

При скатывании отцепа из нескольких вагонов с горки соседние вагоны перемещаются друг относительно друга на расстояние, равное суммарному перемещению их автосцепных устройств в сечении между $(N-1)$ -м и N -м вагонами. Это перемещение складывается из зазоров в автосцепном устройстве, зазоров, определяемых износами его деталей и узлов, а также из деформаций двух поглощающих аппаратов

$$x_{N-1,N} = x_N - x_{N-1} - L_{N-1}, \quad (6)$$

где x_N – расстояние от точки отрыва до переднего упора автосцепного устройства вагона N за вычетом длины автосцепного устройства в сжатом состоянии);

L_{N-1} – расстояние между задними упорами автосцепных устройств вагона $(N-1)$ плюс длина автосцепного устройства в сжатом состоянии.

Схема отцепа приведена в рисунке 3.

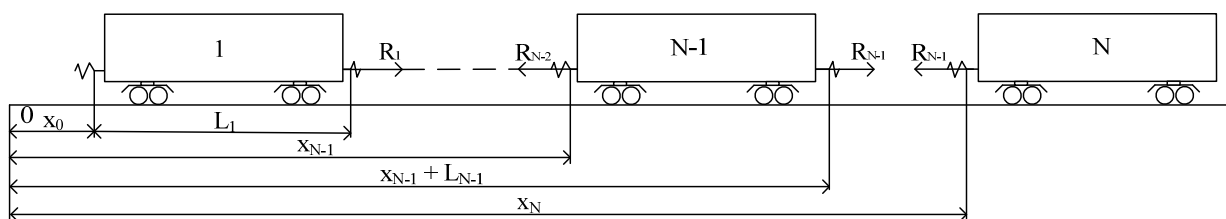


Рисунок 3 – Схема определения положения отцепа

Зависимость усилий в автосцепных устройствах в j -ом сечении отцепа между вагонами N и $(N-1)$ в функции перемещения этих вагонов относительно друг друга (рисунок 4) имеет явно выраженный нелинейный характер. Она определена на отрезке, равном сумме продольных зазоров $x_{св}$ в двух сцепленных автосцепных устройствах и удвоенному значению максимального хода $x_{сж}$ поглощающего аппарата. Левый участок зависимости (под осью $x_{N,N-1}$) соответствует встречно направленным силам взаимодействия вагонов, возникающим при сжатии поезда или его частей; правый (над осью $x_{N,N-1}$) — силам, направленным в противоположные стороны, возникающих при растяжении поезда или его частей. Показанные на рисунке 4 петли гистерезиса обусловлены фрикционными взаимодействиями в поглощающих аппаратах автосцепных устройств и практически исключают возможность аналитического решения задачи вследствие неоднозначного соответствия между силами в автосцепных устройствах и относительными продольными перемещениями вагонов.

Цифрами от 1 до 6 отмечены ветви петель гистерезиса на рисунке 4, которым соответствует следующие закономерности изменения сил

$$\begin{cases} F_1 = 0,5k_1(x^{i_{N-1,N}} - x_{св} - x_{сж}); \\ F_2 = 0,5k_2(x^{i_{N-1,N}} - x_{св} - x_{сж}); \\ F_3 = 0,5k_3(x^{i_{N-1,N}} - x^{i-1_{N-1,N}}) - F^H_N; \\ F_4 = 0,5k_1(x^{i_{N-1,N}} - x_{сж}); \\ F_5 = 0,5k_2(x^{i_{N-1,N}} - x_{сж}); \\ F_6 = 0,5k_3(x^{i_{N-1,N}} - x^{i-1_{N-1,N}}) + F^H_N. \end{cases} \quad (7)$$

где i – номер шага дискретизации;

k_1, k_2, k_3 – коэффициенты жесткости хода пружин в поглощающем устройстве. [3]

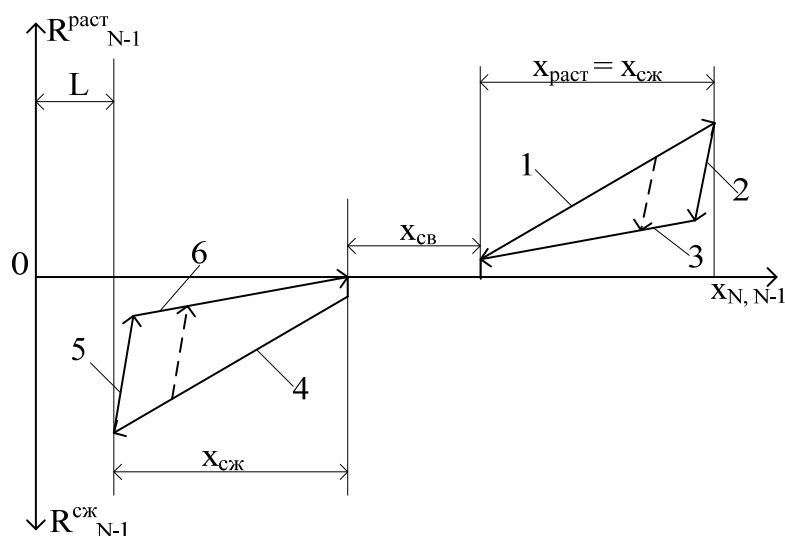


Рисунок 4 – Зависимость сил в автосцепных устройствах от относительных перемещений подвижных единиц в отцепе: $R_{N-1}^{раст}$ -растягивающие силы; $R_{N-1}^{сж}$ -сжимающие силы; L -суммарная длина двух автосцепных устройств и сжатых поглощающих аппаратов; $x_{сж}, x_{раст}$ -перемещения (ход) двух последовательно включенных аппаратов соответственно при сжатии и растяжении; $x_{св}$ -свободный ход

Указанные положения расчета будут использованы при разработке имитационной модели процесса роспуска отцепов с сортировочной горки, что позволит производить расчет условий скатывания отцепов из нескольких вагонов и исследовать их влияние на конструкцию, техническое оснащение и технологию работы сортировочных горок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Разработка математической модели процесса скатывания вагонов с сортировочной горки и алгоритма расчета основных сил сопротивления: отчет о НИР / СГУПС; А.А. Гунбин. -Новосибирск, 2011. -26 с.
- 2 Мугинштейн, Л.А. Нестационарные режимы тяги. Сцепление. Критическая масса поезда / Л.А. Мугинштейн, А.Л. Лисицын. -М.: Интекст, 1996. -176 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: имитационное моделирование, сортировочная горка, сопротивление движению отцепа, поглощающий аппарат

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Климов Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Гунбин Антон Андреевич, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

НЕЛИНЕЙНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПЛОЩАДИ ЗОН СКОЛЬЖЕНИЯ В ПРЕССОВОМ СОЕДИНЕНИИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ВАГОНА

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

С.В. Кротов

NONLINEAR ESTIMATION OF MAGNITUDE SLIDE ZONES IN WHEEL-AXLE ASSEMBLY OF WAGON WHEELSET
«Rostov state transport university»
S.V. Krotov

The article shows the possibility of using nonlinear estimation -the piecewise linear regression with breakpoint model to analyze the bearing ability of the wheelset.

Keywords: piecewise linear regression with breakpoint, model adequacy, bearing ability

Рассмотрены вопросы использования нелинейного оценивания кусочно-линейной регрессионной модели с точкой разрыва при анализе несущей способности колесной пары.

Надежности прессового соединения в странах, использующих вагоны с высокой осевой нагрузкой, уделяется серьезное внимание. Так, например, в США, где нагрузка на ось достигает 31-35 т, на колесных парах размещаются датчики слежения за «совместным» вращением колеса и оси при движении, что позволило несколько снизить количество сдвигов колес с осей или разрушений ступицы в среднем до 3-4 случаев в год. Несмотря на это именно там в апреле произошел сдвиг колеса с оси, повлекший за собой сход с рельсов с экономическим ущербом более 2,5 млн. \$ [1].

Увеличение нагруженности подвижного состава за счет роста осевой нагрузки и скорости движения приводит к изменению напряженно-деформированного состояния (НДС) колесной пары, и, в частности, прессового соединения колеса и оси.

Наблюдение или измерением НДС в прессовом соединении при эксплуатации колесной пары не представляется возможным, поэтому необходимо уделить внимание методам прогнозирования опасного состояния прессового соединения, при котором может произойти сдвиг колеса с оси.

При помощи расчетного комплекса на основе метода конечных элементов выполнено оценивание НДС при всевозможных сочетаниях шести нагружающих факторов – выполнен полный факторный эксперимент [2].

На разных уровнях варьировались вертикальная и горизонтальная нагрузка на колесную пару, крутящий момент, режимы торможения, эксцентриситет точки контакта колеса с рельсом по отношению к центру соединения колеса и оси, толщина обода колеса [3].

Необходимо отметить, что более чем из ста вариантов расчетов колесной пары величина площади зон скольжения в соединении колеса и оси в 10 случаях достигла или превысила 50% контактной поверхности в прессовом соединении. В зонах прямого и обратного скольжения перемещение точек контакта колеса и оси в одном направлении приводят к ослаблению соединения, что в условиях динамического нагружения представляет угрозу безопасности движения [4].

Величина зон скольжения в прессовом соединении колеса и оси использовалась, как один из показателей несущей способности колесной пары; на основании этого выполнялось статистическое оценивание при помощи линейных регрессионных моделей [5, 6].

В данной работе предполагается нелинейная связь между функцией отклика – площадью зон скольжения и предикторами – нагрузкой, температурным воздействием и т.п. [4].

Будем использовать кусочно-линейную регрессию (сплайновую) с точкой разрыва. Основная идея данной математической модели заключается в том, что до и после точки разрыва (до определенного значения) функция отклика может описываться различными регрессионными уравнениями (формулами) [7].

В нашем случае это может дать определенные преимущества с точки зрения точности прогнозирования состояния прессового соединения, поскольку вид зависимости между предикторами и переменной отклика может отличаться в разных областях значений независимых переменных [7].

Приводим результаты «квази-ньютоновского» метода оценивания зависимой переменной (dependent variable ZSKOL) – величины площади зон скольжения (рисунок 1). Данный метод вычисляет значения функции в различных точках для оценивания первой производной (тангенс угла наклона графика функции в точке) и второй производной (скорость изменения тангенса угла), используя эти данные для минимизации функции потерь [7].

Для этого использован наиболее распространенный метод наименьших квадратов (least squares), минимизирующий суммы квадратов отклонений предсказанных значений по данной модели от «наблюдаемых», а в нашем случае – рассчитанных значений площади зон скольжения. То есть фактически происходит минимизация функции потерь (final loss) [8].

	Model is: Piecewise linear regression with breakpoint (planFac41.sta)							
	Dependent variable: ZSKOL Loss: Least squares							
	Final loss: 0,482625894 R=0,86755 Variance explained: 75,264%							
N=96	Const.B0	VERT	POPER	MOKR	TORM	EXCENT	TOLOBOD	Breakpt.
Estimate 1	0,092150	0,000531	0,001127	-0,000037	-0,000047	-0,015099	-0,001789	0,282249
Estimate 2	0,12769	0,001018	0,000962	0,000012	-0,000206	-0,008178	-0,006556	

Рисунок 1 – Модель кусочно-линейной регрессии с точкой разрыва

В данном случае функция потерь имеет невысокое значение 0,4826. Суммарная дисперсия, «объясняемая» при помощи полученного уравнения регрессии равна 0,75264 или 75,3% всей дисперсии функции отклика. Таким образом, эта доля эквивалентна значению R-квадрат, который имеет достаточно высокое значение 0,86755.

До точки разрыва (breakpoint) 0,282249 (что эквивалентно площади зон скольжения 28,2%) распределение описывается уравнением

$$ZSKOL = 0,092150 + 0,000531 \cdot VERT + 0,001127 \cdot POPER - 0,000037 \cdot MOKR - \\ - 0,000047 \cdot TORM - 0,015099 \cdot EXCENT - 0,001789 \cdot TOLOBOD,$$

а после нее

$$ZSKOL = 0,12769 + 0,001018 \cdot VERT + 0,000962 \cdot POPER + 0,000012 \cdot MOKR - \\ - 0,000206 \cdot TORM - 0,008178 \cdot EXCENT - 0,006556 \cdot TOLOBOD.$$

В уравнениях обозначены вертикальная нагрузка на колесную пару (*VERT*), горизонтальная реакция рельса (*POPER*), температурное воздействие вследствие торможения (*TORM*), крутящий момент (*MOKR*), эксцентриситет приложения вертикальной реакции рельса по отношению к центральному поперечному сечению прессового соединения колеса и оси (*EXCENT*), толщина обода колеса (*TOLOBOD*).

Теперь можно получить прогнозируемое значение площади зон скольжения, подставив в полученные уравнения значения указанных факторов.

На рисунке 2 представлена зависимость между прогнозируемыми величинами площадей зон скольжения и остатками регрессионной модели.

Линейное уравнение имеет вид $y = 4,57 \cdot 10^{-9} - 1,72 \cdot 10^{-8} x$,

и фактически зависимость располагается возле нулевого значения. Известно [8], что в этом случае выбранная регрессионная модель достаточно адекватно описывает зависимость между регулируемым переменными и зависимой переменной.

На рисунке 3 представлена зависимость наблюдаемых (полученных в результате численного эксперимента) и предсказываемых по уравнению регрессии величин зон скольжения в прессовом соединении колеса и оси.

Линейная зависимость имеет вид

$$y = -2,3459 \cdot 10^{-9} + x.$$

Тангенс угла наклона графика

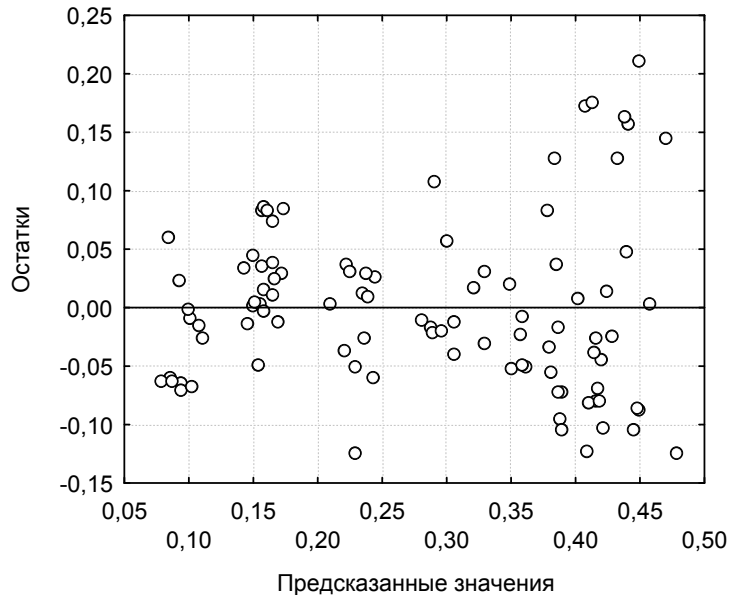


Рисунок 2 – Зависимость между прогнозируемыми величинами площадей зон скольжения и остатками регрессионной модели

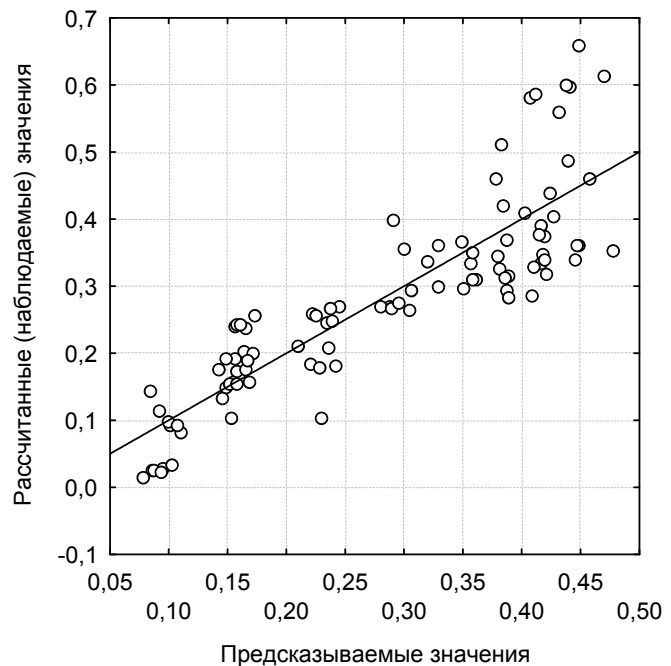


Рисунок 3 – Зависимость между прогнозируемыми величинами площадей зон скольжения по регрессионной модели и рассчитанными значениями

фактически равен 1, видно, что модель достаточно адекватно описывает данные [9].

Таким образом, с помощью полученной кусочно-линейной регрессии с точкой разрыва можно прогнозировать достаточно надежные зависимости величины площадей зон скольжения в прессовом соединении колеса и оси при воздействии указанных факторов. Это позволяет точнее оценить несущую способность прессового соединения колесной пары железнодорожного вагона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Annual report, Safety statistics [Electronic resource] / Federal Railroad Administration., USA. -Mode of access: // <http://www.fra.dot.gov>.
- 2 Кротов, В.П. Применение метода конечных элементов при исследовании контактного взаимодействия колеса и оси в прессовом соединении / В.П. Кротов, С.В. Кротов // Вестн. РГУПС. -2005. -№2. -С. 18-22.
- 3 Кротов, В.П. Оценка несущей способности колесной пары при повышенных нагрузках / В.П. Кротов, С.В. Кротов // Вестн. РГУПС. -2005. -№1. -С. 35-38.
- 4 Кротов, С.В. Классификация параметров несущей способности прессового соединения колесной пары железнодорожного транспортного средства / С.В. Кротов, В.П. Кротов // Вестн. РГУПС. -2007. -№2. -С. 22-28.
- 5 Кротов, С.В. Эффективность регрессии поверхности отклика при анализе несущей способности колесной пары вагона / С.В. Кротов, В.П. Кротов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 143-146.
- 6 Майба, И.А. Прогнозирование несущей способности прессового соединения колесной пары железнодорожного вагона / И.А. Майба, С.В. Кротов, А.М. Ананко // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 257-260.
- 7 Боровиков, В.П. Популярное введение в программу STATISTICA / В.П. Боровиков. -М.: КомпьютерПресс, 1998. -267 с.
- 8 Афифи, А. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ: пер. с англ. / А. Афифи, С. Эйзен. -М.: Мир, 1982. -488 с.
- 9 Эренберг, А. Анализ и интерпретация статистических данных / А. Эренберг. -М.: Финансы и статистика, 1981. -406 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *кусочно-линейная регрессия с точкой разрыва, адекватность модели, несущая способность*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Кротов Сергей Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «РГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2, ФГБОУ ВПО «РГУПС»*

ЧЕТЫРЁХФАЗНАЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧА КАК АЛЬТЕРНАТИВА ТРЁХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧЕ 1150 кВ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Т.Г. Красильникова

A 4-PHASE POWER TRANSMISSION AS ALTERNATIVE TO A 3-PHASE POWER TRANSMISSION 1150 kV

«Novosibirsk state technical university»

T.G. Krasilnikova

The comparative analysis of economic efficiency of transfer of capacity 5000 MW on distance of 1000 km by means of 3-phase power transmissions of a following class of voltage 1150 kV and 4-phase power transmissions of voltage is carried out.

Keywords: 4-phase line, 3-phase line, economic efficiency, cost parameters, reliability

Проводится сравнительный анализ экономической эффективности передачи мощности 5000 МВт на расстояние 1000 км с помощью 3-фазных электропередач следующего класса напряжения 1150 кВ и 4-фазных электропередач освоенного класса напряжения.

Во многих странах мира наивысшим освоенным напряжением трёхфазного переменного тока является напряжение 750(765) кВ. Электропередачи (ЭП) такого класса напряжения позволяют иметь передаваемую мощность на одну цепь порядка 1500-2500 МВт. В странах, имеющих значительную территорию, по мере развития их Национальных Единых Энергосистем, возникает потребность передачи на дальние расстояние мощностей величиной 4000-5000 МВт. Именно такая задача была решена в последней четверти прошлого века в бывшем СССР путём освоения следующего класса напряжения 1150 кВ. В результате была построена линия такого класса напряжения Итат-Барнаул-Экибастуз-Кокчетав-Кустанай-Челябинск общей длиной свыше 2000 км. На подстанциях в Экибастузе, Кокчетаве и Кустанае было установлено оборудование класса 1150 кВ, и этот участок эксплуатировался на напряжении 1150 кВ с 1985 года.

Однако с распадом бывшего СССР и наступившим резким экономическим спадом потребность передачи первоначально намеченных мощностей отпала, и электропередача была переведена на работу на напряжении 500 кВ, на котором она и работает до сих пор. В настоящее время установленное ранее оборудование класса 1150 кВ пришло в негодность,

а производственная база по созданию такого оборудования утеряна. Таким образом, для создания электропередач 1150 кВ на современном этапе необходимо провести большой объём работ, естественно, принимая во внимание опыт прошлых разработок.

Решением проблемы освоения следующего после 750 кВ класса напряжения в настоящее время занимаются в Китае и Индии, где имеются предпосылки для применения электропередач такого класса напряжения.

В связи с вышеизложенным возникает естественный вопрос: могут ли 4-фазные электропередачи на освоенном напряжении $750/\sqrt{3}$ кВ стать достойной альтернативой 3-фазным электропередачам напряжением 1150 кВ? Для того, чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим возможные варианты передачи мощности 5000 МВт на расстояние 1000 км.

На рисунке 1 показаны сравниваемые варианты, в качестве которых намечены 4-фазная ЭП с фазным напряжением $750/\sqrt{3}$ кВ, 3-фазная ЭП напряжением 1150 кВ и 3-фазная ЭП напряжением 1150 кВ, имеющая в своём составе линию с резервной фазой.

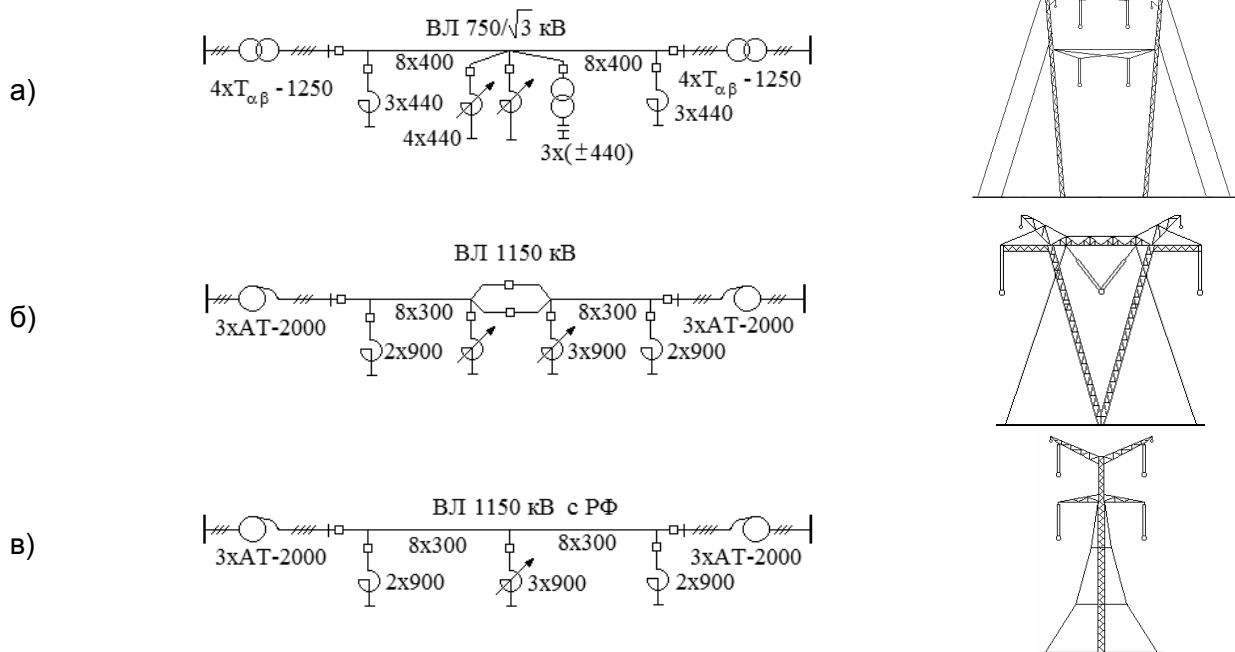


Рисунок 1 – Варианты дальней электропередачи: а)-4-фазная ЭП $750/\sqrt{3}$ кВ; б)-3-фазная ЭП 1150 кВ; в)-3-фазная ЭП 1150 кВ с резервной фазой линии

Необходимость в рассмотрении последнего варианта объясняется тем, что ЭП 1150 кВ традиционной конструкции характеризуется низким уровнем надежности, поскольку при наиболее вероятных однофазных повреждениях линии электропередача должна отключаться полностью, создавая дефициты, соизмеримые с мощностью приёмной системы. В то же время 4-фазная ЭП при однофазных отказах осуществляет переход на 3-фазный режим с возможностью передачи в 20-минутном послеаварийном режиме полной мощности, а длительном послеаварийном режиме не менее 75% максимальной передаваемой мощности.

Наиболее радикальный путь решения проблемы надёжности для 3-фазной линии состоит в оснащении её резервной фазой, что приводит к сопоставимым показателям надёжности 3-фазных и 4-фазных электропередач.

Сравнение вариантов проводится по удельным приведенным затратам на единицу полезно передаваемой электроэнергии согласно:

$$z_{\text{ЭП}} = \frac{E_k K_{\text{ЭП}} + e_{\text{ВЛ}} K_{\text{ВЛ}} + e_{\text{ПС}} K_{\text{ПС}} + e_{\text{УРМ}} K_{\text{УРМ}} + c_{\text{Э}} \Delta \mathcal{E}_{\text{ЭП}}}{\mathcal{E}_{\text{ЭП}} - \Delta \mathcal{E}_{\text{ЭП}}},$$

где E_k – коэффициент эффективности использования капитальных вложений;

$e_{\text{ВЛ}}, e_{\text{ПС}}, e_{\text{УРМ}}$ – норма отчислений на издержки соответственно для линии, подстанций и компенсирующих устройств;

$K_{\text{ЭП}}$ – суммарные капитальные вложения на сооружение ЭП

$$K_{\text{ЭП}} = K_{\text{ВЛ}} + K_{\text{ПС}} + K_{\text{УРМ}};$$

$K_{вл}, K_{пс}, K_{урм}$ – капитальные вложения на сооружение линии, подстанций и компенсирующих устройств;

$c_э$ – стоимость потерянной электроэнергии;

$\Delta \mathcal{E}_{эл}$ – годовые потери электроэнергии;

$\mathcal{E}_{эл}$ – годовая электроэнергия на отправном конце ЭП.

При расчётах коэффициент эффективности капиталовложений при длительности сооружения ЭП в 7 лет и сроке её службы, принятом 40 годам, составил $E_k = 0,177$ [1]. При сравнении рассматриваемых вариантов также было принято: $e_{вл} = 0,008$; $e_{пс} = e_{кв} = 0,049$; $c_э = 800$ руб/(кВт·ч); $T_{max} = 6000$ ч. Оптимальные параметры линий для разных вариантов определялись согласно методики [2], а их стоимости рассчитывались с использованием данных [3, 4].

Стоимости 4-фазных и 3-фазных подстанций переменного тока определялись согласно их принципиальным схемам, изображённым на рисунке 2 и 3.

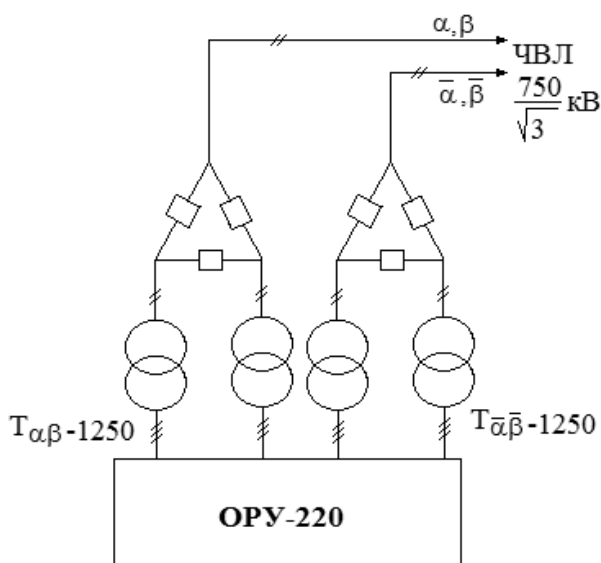


Рисунок 2 – Схема 4-фазной подстанции 750/√3 кВ

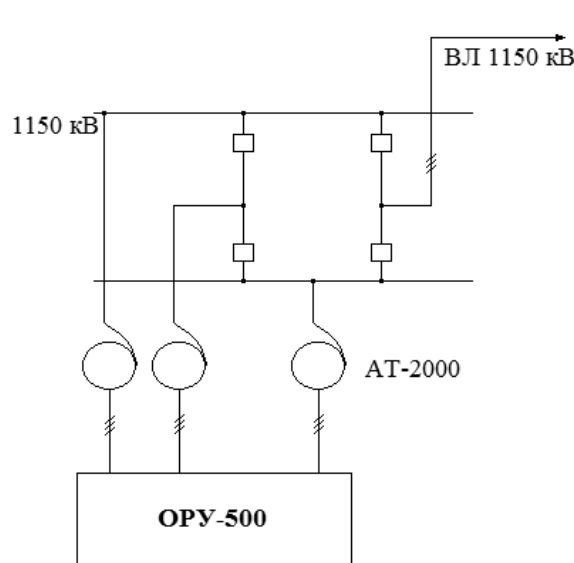


Рисунок 3 – Схема 3-фазной подстанции 1150 кВ

В качестве компенсирующих устройств используются неуправляемые и управляемые шунтирующие реакторы, количество которых выбиралось из условия компенсации зарядной мощности линии близкой к 100%. При этом управляемые реакторы устанавливаются в средней части линии, неуправляемые реакторы располагаются по её концам. Кроме того, в схеме 4-фазной ЭП потребовалась установка статических подмагничиваемых компенсаторов. Данное обстоятельство объясняется следующим. В 3-фазной ЭП 1150 кВ управляемые реакторы позволяют поддерживать постоянство напряжения вплоть до передачи натуральной мощности, которая при максимальном рабочем напряжении составляет 6000 МВт. С другой стороны, эта мощность является предельной мощностью, при которой обеспечивается нормированный коэффициент запаса по статической устойчивости в 20%.

В 4-фазной ЭП управляемые реакторы позволяют иметь предельную мощность, равную натуральной мощности 4-фазной линии и составляющую 5160 МВт. Для того чтобы довести предельную мощность 4-фазной ЭП до уровня 3-фазной ЭП 1150 кВ требуется оснащение 4-фазной ЭП статическими подмагничиваемыми компенсаторами, как это показано на рисунке 1а.

Стоимость неуправляемых и управляемых шунтирующих реакторов а также статических подмагничиваемых компенсаторов определялась на основе данных [4] с учётом их четырёхфазного исполнения.

Основные стоимостные показатели вариантов, определённые в базисных ценах 2000 года, сведены в таблице.

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Таблица – Сопоставительный анализ технико-экономических показателей вариантов электрической связи при передаче 5000 МВт на расстояние 1000 км

Показатели	4-фазная ЭП	3-фазная ЭП	3-фазная ЭП с РФ
Номинальное напряжение, кВ	750/ $\sqrt{3}$	1150	1150
Конструкция фазы (полюса), мм ²	8×400	8×300	8×300
КПД по энергии, %	94,4	94,6	94,6
Удельная стоимость ВЛ, млн. руб/км	12	10,5	12,9
Стоимость линии, млн.руб	12000	10500	12900
Стоимость подстанции, млн.руб	4380	5430	5690
Стоимость компенсирующих устройств, млн.руб	3080	2340	3110
Общая стоимость, млн.руб	19460	18270	21700
Приведенные затраты, млн.руб/год	5270	4980	5660
Удельные приведенные затраты, коп/(кВт·ч)	18,6	17,5	19,9
Удельные приведенные затраты, %	100	94	107

Из данной таблицы следует, что 3-фазная ЭП 1150 кВ, содержащая в своём составе традиционную линию с низким уровнем надёжности, имеет небольшое экономическое преимущество по сравнению с 4-фазной ЭП напряжением 750/ $\sqrt{3}$ кВ. При сопоставимых уровнях надёжности экономическое преимущество получает 4-фазная ЭП напряжением 750/ $\sqrt{3}$ кВ.

Вывод. Из проведённого сопоставительного анализа следует, что при передаче мощностей порядка 4000-5000 МВт на дальние расстояния переход к 3-фазным ЭП следующего класса напряжения 1150 кВ не даёт желаемого экономического эффекта, если в качестве альтернативного варианта рассматривать 4-фазные ЭП освоенного класса напряжения 750/ $\sqrt{3}$ кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Красильникова, Т.Г. Модифицированные критерии для оценки экономической эффективности энергетических объектов / Т.Г. Красильникова // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Энергетика. -2010. -№5/6.
- 2 Зильберман, С.М. Обоснование конструкции фазы для линий напряжением 1150 кВ / С.М. Зильберман, Т.Г. Красильникова, В.З. Манусов // Изв. высших учеб. заведений. Проблемы энергетики. -2008. -№1/2. -С. 24-37.
- 3 Красильникова, Т.Г. Сравнительная оценка надёжности и технико-экономических показателей компенсированных четырёхфазных электропередач / Т.Г. Красильникова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 404-407.
- 4 Справочник по проектированию электроэнергетических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. -М.: НЦ ЭНАС, 2009.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: 4-фазная линия, 3-фазная линия, экономическая эффективность, стоимостные показатели, надёжность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Красильникова Татьяна Германовна, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ТЯГОВОЙ СЕТИ И ПОВЫШЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ ЕЁ ЗАЩИТЫ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

С.М. Кузнецов, А.В. Гашкова, И.С. Демиденко, А.М. Шелепов

PROBLEMS OF INTRODUCTION OF CONDITION MONITORING OF THE TRACTION NETWORKS AND INCREASES OF SELECTIVITY AND RELIABILITY PROTECTION

«Novosibirsk state technical university»
S.M. Kuznetsov, A.V. Gashkova, I.S. Demidenko, A.M. Shelepov

In this article feasibility and problems of introduction of condition monitoring of the traction networks are reviewed.

Keywords: technical requirements, monitoring, traction networks, multiple parameter protection, setting

Рассмотрены технические возможности и проблемы внедрения мониторинга тяговой сети.

Автоматизация технологических процессов и мониторинг состояния тяговой сети и оборудования на основе микропроцессорных устройств (МПУ) позволяют создать тяговую подстанцию нового поколения с повышенной надёжностью оборудования, не требующего теку-

щего обслуживания, обеспечивающего минимальное участие персонала в оперативных переключениях и ремонте оборудования, исключающего возникновение аварийно опасных ситуаций вследствие так называемого «человеческого фактора».

Микропроцессорное устройство (МПУ) позволяет осуществить:

- местное и дистанционное управление;
- защиту от токов короткого замыкания и недопустимых перегрузок тяговой сети электрического транспорта;
- регистрацию основных параметров произошедших аварийных процессов; последующий, анализ персоналом позволяет на более высоком уровне осуществить необходимые профилактические мероприятия;
- контроль состояния и ресурса выключателей (например, вакуумного со стороны среднего напряжения (ВВ) и быстродействующего выключателя в тяговой сети (БВ));
- ряд других функций, которые штатно введены разработчиками и могут быть дополнительно введены эксплуатационным персоналом в целях повышения надёжности.

В совокупности с устройствами определения сопротивления изоляции контактной сети (ИКЗ) и питающих кабелей – (ЗКЛ-600В) МПУ наряду с защитой осуществляет мониторинг параметров тяговой сети.

Защита тяговых сетей обеспечивается путем непрерывного контроля динамики изменения тока и напряжения в тяговой сети с выдачей команд на отключение быстродействующего выключателя распределительного устройства выпрямленного тока в случае превышения током и (или) напряжением фидера тяговой сети заданных уставок.

МПУ выполняет следующие функции:

- защиту тяговой сети от токов короткого замыкания;
- измерение величины тока и напряжения в тяговой сети в стационарных и аварийных режимах в случае превышения параметрами сети заданных уставок;
- осциллографирование и запись в долговременную память формы и величины тока и напряжения при срабатывании защиты тяговой сети;
- передачу в систему верхнего уровня АСУ (либо в персональный компьютер) данных для статистического анализа с целью, например, корректировки уставок защит или анализа нагрузки;
- изменение коэффициентов преобразования и уставок защит, выбор интервалов усреднения при помощи системы верхнего уровня АСУ, выполняемое энергодиспетчером.

Благодаря этому обслуживающий персонал имеет возможность быстро получать надежную информацию о рабочем состоянии системы.

Устройства мониторинга выпускают НИИЭФА (Россия, г. Санкт-Петербург), Плутон (Украина, г. Запорожье), Sexeron (Швейцария), Simens (Германия). У всех фирм оно практически унифицировано, имеет одинаковый интерфейс и протокол для любого вида электрического транспорта и представляет собой два отдельных модуля:

- измерительный модуль с делителем напряжения, которые размещают в зоне высокого (рабочего) напряжения;
- преобразовательный модуль, который размещают в зоне низких напряжений, как правило, в шкафу управления фидером.

Измерительный модуль и модуль преобразователя соединяют между собой оптическим кабелем, который обеспечивает надежную гальваническую развязку между высоковольтными и вторичными цепями.

Измерительный модуль непосредственно подключен к датчику измерения тока и напряжения. Датчиком тока является шунт или устройство на принципе Холла, датчиком напряжения – резистивный делитель напряжения, находящийся внутри измерительного модуля, и предназначен для понижения измеряемого напряжения до уровня приемлемого для дальнейшей обработки.

МПУ различных модификаций может обеспечивать выполнение следующих защитных функций:

- максимальная токовая защита (МТЗ), которая должна срабатывать при «плавном» изменении тока фидера как резервная (классическая токовая защита с выдержкой времени);
- защита по приращению тока (ЗПТ), реагирующая на его изменение ΔI выше уставки, пороговое устройство в МПУ получает сигнал от датчика тока (ранее ЗПТ обеспечивалась либо конструкцией БВ, либо специальным реле с дифференциальным шунтом);

– превышение значения скорости нарастания тока di/dt заданной уставки, в некоторых вариантах может учитываться направление, тогда её называют направленной защитой по критической скорости нарастания тока (ЗСНТ), учитывает и согласовывается с ЗПТ;

– токовременная защита (классическая защита по контролю температуры перегрева контактного провода);

– снижение напряжения ниже заданного уровня (защита по минимальному напряжению – ЗМН);

– защита по повышенному напряжению (ЗПН) в контактной сети, например при рекуперации;

– линейное тестирование (измерение ограниченного резистором тока – амперметр, или сопротивления – омметр) после отключения от защиты для определения наличия (отсутствия КЗ); в отдельных вариантах работает автономно, то есть без МПУ.

Проблема надёжности функционирования защиты должна решаться:

– во-первых определением признаков, свидетельствующих о наличии КЗ и их параметрами;

– во-вторых правильным выбором уставок.

Из перечисленных выше функций видно, что МПУ контролирует только два параметра – ток и напряжение в тяговой сети; в некоторых вариантах МПУ есть дистанционная защита по контролю сопротивления $R_{осм} = U_{осм} / I_{кз}$ -функция тока и напряжения.

Параметры перечисленных функций и их изменения присущи аварийным и стационарным режимам, в отдельных случаях они соизмеримы; поэтому выбор уставок затруднён (в настоящее время нет обоснованных методик) и неизбежны ложные срабатывания защиты. Таким образом, и современное МПУ не удовлетворяет требованиям ПУЭ по селективности, либо при завышении уставок (действие в ограниченной зоне – на части участка она не будет удовлетворять требованиям надёжности защиты тяговой сети [1, 3].

Особенности режимов работы тяговой сети [1] состоят в следующем:

– перемещение нагрузок по фидерной зоне и быстро изменяющиеся по времени изменения нагрузок в связи с повышением мощности электроподвижного состава (ЭПС);

– переход с фидера на фидер сопровождается броском тока с крутым фронтом, при кратковременных отрывах токоприемников имеет место несколько скачков тока;

– соизмеримость токов нагрузок с токами коротких замыканий (КЗ) в наиболее удаленной точке контактной сети;

– неоднородность тяговой сети по длине, по активным и полным сопротивлениям (станции, сопряжения, перемещающиеся поезда, изменение схемы секционирования);

– наличие продольного и поперечного секционирования;

– значительное число коротких замыканий на (ЭПС).

Известно, что защиты от токов КЗ на ЭПС и подстанциях работают не селективно, уставки их не согласуют. Селективность между защитами тяговой подстанции (ТП), поста секционирования (ПС) и пункта параллельного соединения (ППС) часто не обеспечена. Основная сложность при создании селективной и надёжной защиты, удовлетворяющей требованиям ПУЭ заключается в том, что для тяговых сетей существуют два противоречивых требования: с одной стороны, необходимо отключать минимальные токи КЗ (в наиболее удалённой точке), с другой – обеспечивать нормальное питание нагрузки при токах близких, а иногда больших токов КЗ.

Наиболее перспективными в решении данных противоречий являются:

– использование микропроцессорных устройств МПУ и адаптивных алгоритмов, анализирующих переходные процессы в защищаемой зоне;

– применение многопараметрических систем защиты, реагирующих не только на значение тока и напряжения на шинах ТП, но и на сопутствующие факторы, характерные для переходного процесса.

К этим факторам относятся:

– увеличение переменной составляющей напряжения на выходе тяговой подстанции [1];

– изменение полного сопротивления тяговой сети;

– появление высокочастотных колебаний напряжения в тяговой сети или параллельно ей идущих волноводах.

Автоматическое испытание тяговой сети на наличие/отсутствие КЗ после отключения.

Для установившихся режимов КЗ с малыми токами целесообразно вести контроль тем-

пературы контактного провода.

В этой концепции [1] каждый признак можно рассматривать как отдельный тип защиты, реализованной в общем контроллере. Таким образом, линия виртуально оборудована несколькими разными типами защит, принятие решения об отключении в общем устройстве осуществляется микропроцессором по заложенному алгоритму, что более полно будет удовлетворять требованиям ПУЭ о наличии не менее трёх защит на линии и соответствовать понятию «мониторинг».

Для определения уставок срабатывания электронных систем защиты необходимо знать параметры процессов, протекающих в тяговой сети в различных режимах: при пуске поезда, кратковременном отрыве токоприемника от контактного провода, переходе через секционные изоляторы, коротком замыкании вблизи подстанции и в удаленной точке. Определение этих величин расчётом или экспериментально требует длительного времени, применения специального оборудования и не позволяет рассмотреть все возможные ситуации и изменения режимов работы тяговой сети. В настоящее время МПУ позволяют выполнить анализ параметров некоторых признаков переходных процессов и создать методику выбора уставок защит на основе расчётов и имитационного моделирования [4].

На рисунке 1 приведена осциллограмма мониторинга процесса отключения устройством МПУ неуспешного пуска поезда массой 6056 т вблизи подстанции на затяжном подъёме, которая формируется по следующему алгоритму.

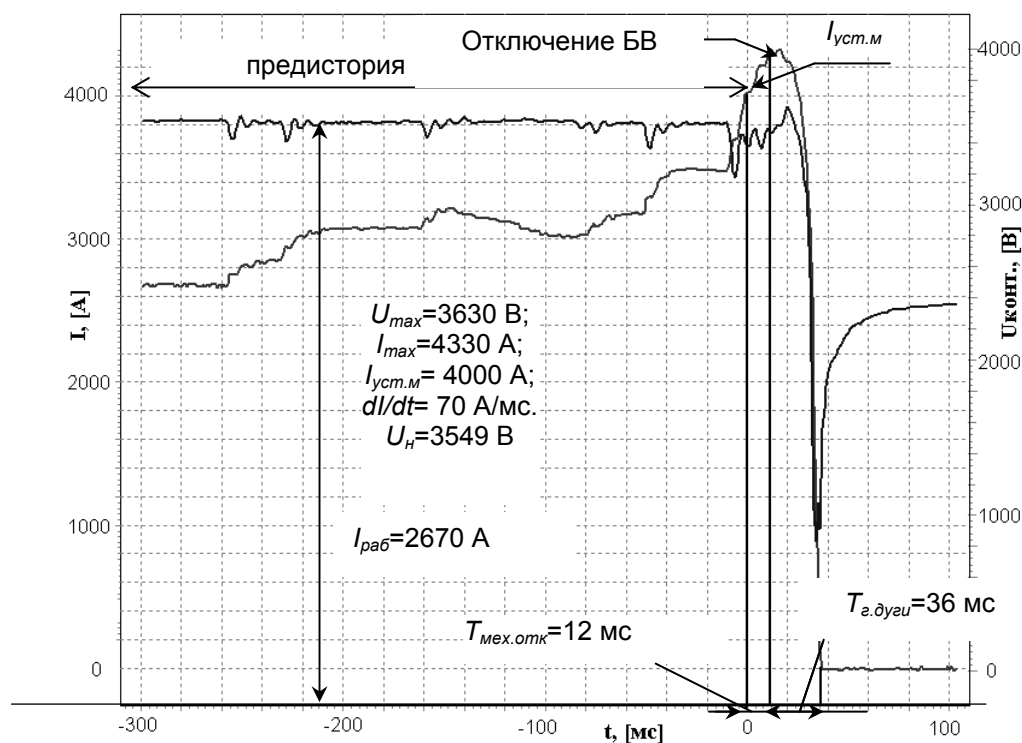


Рисунок 1 – Осциллограмма переходного процесса при пуске поезда и отключения от перегрузки

После срабатывания одного из критериев защит контроллер преобразовательного модуля формирует событие, по которому в энергонезависимой памяти записывается осциллограмма процесса. Одновременно записывается астрономическое время срабатывания защиты, отдельные параметры (см. рисунок 1) сработавшей защиты. В осциллограмме записывается как значения тока и напряжения после обнаружения аварийной ситуации, так и значения тока и напряжения до возникновения аварии (так называемая «предистория»). Длина осциллограммы составляет 1024 значения, 512 из них представляют собой «предисторию» и 512 представляют собой переходный процесс и гашение дуги в камере БВ. Временной интервал, который записывается на осциллограмме, составляет в разных устройствах от 100 мс до 300 мс.

Некоторые МПУ одновременно записывают осциллограмму тока и напряжения в средних значениях за интервал выборки, которую можно использовать, например, при анализе. Осциллограммы могут быть считаны системой АСУ верхнего уровня через интерфейсы RS-232 и RS-285 по протоколу ModBus или быть просмотрены, а также сохранены для даль-

нейшей обработки при помощи ПК.

Величина максимального тока и напряжения пересчитывается каждый такт (то есть каждые 100 мкс).

При превышении новых измеренных значений тока или напряжения значений записанных в максиметр ранее, новые значения записываются на место старых. Сравнение происходит независимо для каналов тока и напряжения. Значения максиметра могут быть обнулены с помощью ПК.

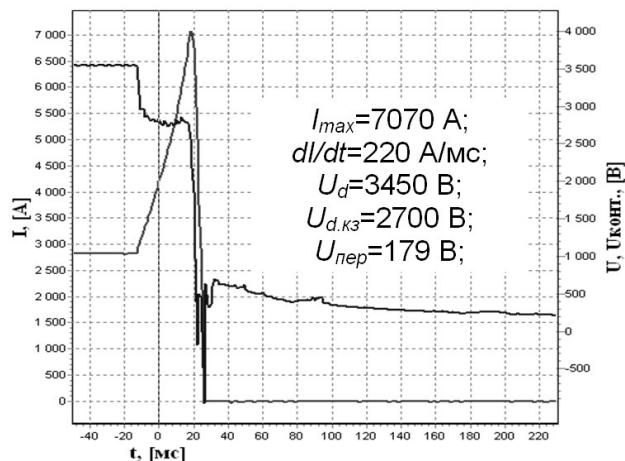
До момента достижения током фидера значения уставки (4000 А) по кривой тока I видны попытки реализовать силу тяги с приращениями ΔI , равными 200-300 А, при общей нагрузке фидера 2670 А, близкой к уставке. Далее система управления электровоза ВЛ-10 (возможно переход на ослабление поля или СП соединение двигателей) создала скачок тока ΔI в силовой цепи около 500 А с большой скоростью нарастания $di/dt = 70$ кА/с, что привело к срабатыванию защиты и отключению БВ. С момента достижения током значения 4000 А «предистория» заканчивается и осциллограмма отражает процесс изменения и отключения тока БВ. В кривой напряжения U в зоне «предистории» (-300)-0 мс, видны колебания напряжения, переменную составляющую которого можно считать сопутствующим признаком переходного процесса. Её амплитуда и частотный спектр различны при пуске поезда и КЗ, исследован в [1]. Таким образом, дополнительный канал в МПУ, настроенный на амплитуду и частоту переменной составляющей в напряжении U_{\sim} и $U_{\sim f}$ позволил бы, в данном случае, заблокировать срабатывание защиты от скачка пускового тока.

В случае короткого замыкания (рисунок 2 и 3) также возрастает переменная составляющая напряжения, но на большую величину и частотный спектр её иной [1].

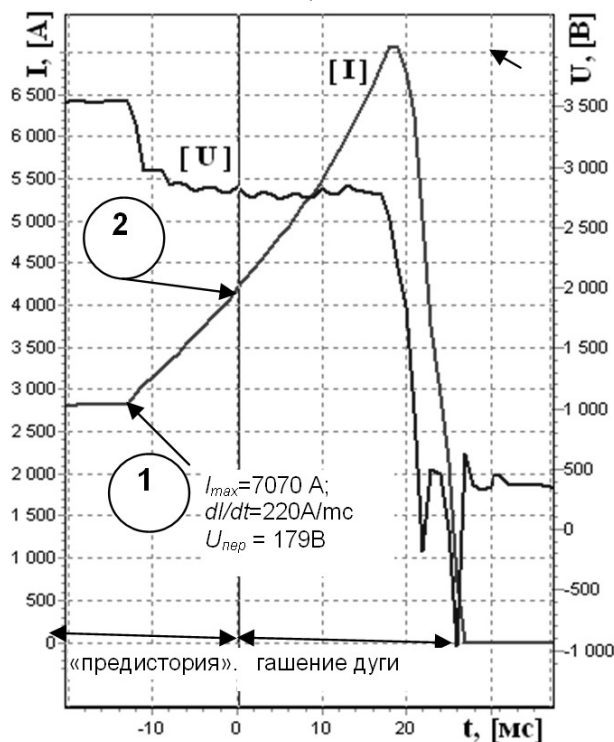
В этом случае логическая комбинация датчиков di/dt , $U_{пер}$ и $U_{сч}$ позволяют гарантированно отключить короткое замыкание.

Анализ осциллограммы (рисунок 4) при штатном пуске тяжёлого поезда, но вызвавшем ложное срабатывание из-за близости параметров тяговой сети (ток нагрузки 3200 А при уставке 4000 А) и скачка пускового тока ΔI (около 800 А с малой скоростью, $di/dt = 60$ А/мс) свидетельствует о том, в этом случае логическая комбинация признаков переходного процесса: ΔI , di/dt , $U_{пер}$ и $U_{сч}$ позволяют гарантированно избежать ложного отключения.

Возможны и другие алгоритмы мониторинга, но главное в концепции многопараметрической защиты в том, что для принятия решения алгоритм использует несколько признаков переходного процесса и сравнивает их параметры с уставками. Уставки должны быть рассчитаны для каждого участка тяговой сети с учётом её функциональных параметров (то есть в конкретной схеме работы тяговой сети) и откорректированы на имитационной модели для возможных ситуаций нагрузки (поездные ситуации). Изменение схемы питания приводит к



а)



б)

Рисунок 2 – Отключение от КЗ на ЭПС вблизи подстанции: 1-момент возникновения КЗ на ЭПС; 2-достижение током КЗ значения уставки, равной 4000 А

изменению параметров сети и должно сопровождаться изменением уставок. Для этого необходимо составить режимные карты уставок на все возможные ситуации для каждой фидерной зоны. Современная система управления верхнего уровня типа Skada позволяет энергодиспетчеру изменять уставки в соответствии с режимной картой дистанционно. В такой интерпретации МПУ можно говорить об эффективном мониторинге в отличие от предлагаемого на рынке.

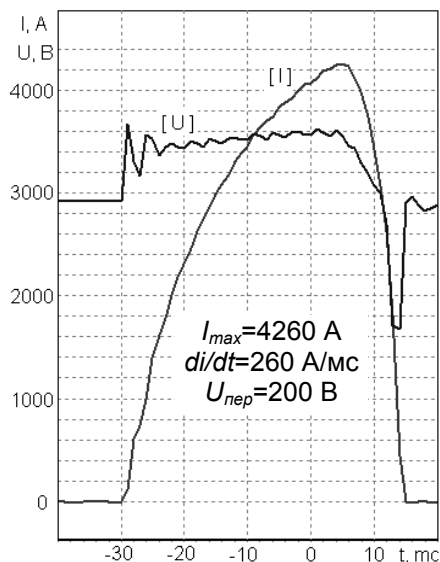


Рисунок 3 – Неуспешное АПВ на КЗ

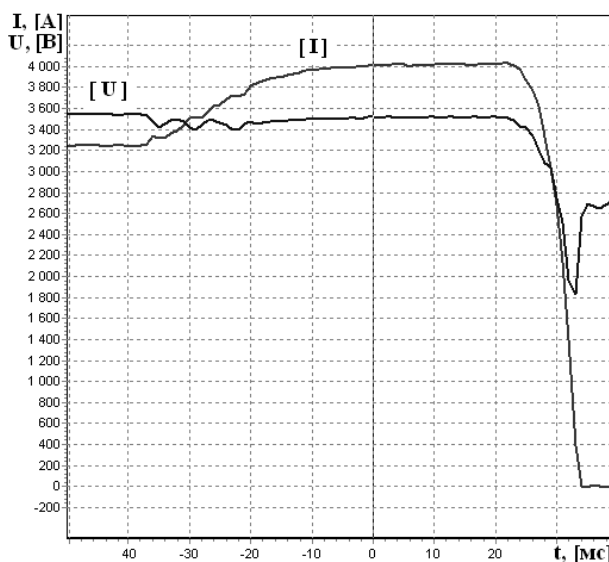


Рисунок 4 – Осциллограмма штатного пуска ЭПС и ложного срабатывания защиты

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кузнецов, С.М. Защита тяговой сети от токов короткого замыкания: учеб. пособие / С.М. Кузнецов. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. -352 с.
 2 Гречишников, В.А. Опыт разработки и эксплуатации блоков микропроцессорных защит фидеров постоянного тока 3,3 кВ. [Электронный ресурс] /В.А. Гречишников, В.Н. Пупынин. -Режим доступа: www.elektro.elektrozavod.ru/1_2004.htm.
 3 Исследование на математической модели переходных процессов в тяговой сети железных дорог постоянного тока при пуске поезда / С.М. Кузнецов, И.С. Демиденко, М.В. Ярославцев, А.В. Гашкова, А.О. Кривова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -2009. -№2. -С. 324-328.
 4 Выбор установок электронных защит с коррекцией на иммитационной модели / С.М. Кузнецов, И.С. Демиденко, А.М. Шелепов, А.В. Гашкова // Трансп.: наука, техника, упр. -2011. -№12. -С. 21-27.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *технические требования, мониторинг, тяговая сеть, многопараметрическая защита, уставка*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кузнецов Сергей Михайлович, канд. тех. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 Гашкова Анфиса Валерьевна, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 Демиденко Иван Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 Шелепов Александр Михайлович, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТА НА СТАБИЛЬНОСТЬ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И УСТОЙЧИВОСТЬ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

В.Н. Ли, А.С. Сапов

IMPACT OF GROUND STRENGTH PROPERTIES ON ROAD EMBANKMENT SLOPE STABILITY AND RAILWAY POLE RESISTANCE

«Far East state university of means of communication»
 V.N. Li, A.S. Sapov

In the article on basis of experimental researches were obtain stability factor dependencies and slide pressure on straight properties of loamy soil. The measurements were made for two conditions: static and dynamic stresses.

Keywords: *ground strength properties, stability factor, slide pressure, railway pole resistance, statics, dynamics*

На основе проведенных экспериментальных исследований, получены зависимости коэффициен-

та устойчивости и оползневого давления от прочностных свойств суглинистого грунта. Измерения проводились для двух состояний: статической и динамической нагрузок.

В годовом цикле изменения природно-климатических параметров прочностные свойства грунтов земляного полотна меняются в большом диапазоне. Оценка прочности и устойчивости земляного полотна, как инженерной конструкции должна выполняться с минимальными (но реально возможными) величинами прочностных характеристик [1].

Определение таких величин в неблагоприятные периоды работы грунтов, например в период весеннего оттаивания или затяжных дождей, является отдельной сложной задачей. Проектировщики часто получают прочностные показатели грунтов по критической кривой обрушения (кривая с наименьшим коэффициентом устойчивости), принимая коэффициент устойчивости равным единице.

Полученные таким образом прочностные свойства и оползневое давление используются при разработке стабилизирующих мероприятий.

Эти данные необходимо использовать при расчетах устойчивости опор контактной сети, находящихся на откосах земляного полотна, во время проектирования и эксплуатации.

Экспериментально получены для исследуемого поперечного профиля зависимости коэффициента устойчивости от прочностных свойств суглинистого грунта при статическом и динамическом состоянии грунтов насыпи (рисунок 1).

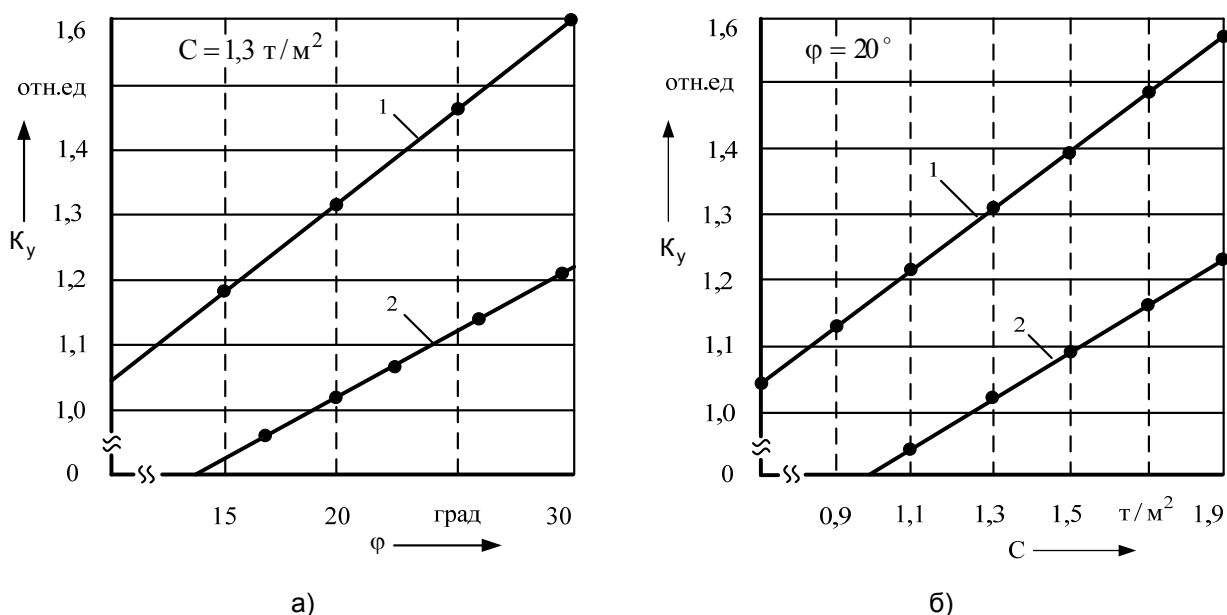


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента устойчивости от прочностных свойств грунта (1- статика; 2-динамика): а)-зависимость от угла внутреннего трения; б)-зависимость от удельного сцепления

Изменение угла внутреннего трения в 3 раза при $C = 1,3 \text{ кН/м}^2$ (рисунок 1а) приводит к колебанию коэффициента устойчивости в пределах 1,05-1,60 (изменение на 52,4%) в статическом расчете и в пределах 0,81-1,22 (изменение на 50,6%) при динамическом расчете.

Если в статике во всем диапазоне изменения угла внутреннего трения 10° - 30° коэффициент устойчивости больше 1,0, то в динамике при $\phi = 20^\circ$ наступает предельное равновесие сил и может произойти обрушение откоса.

Изменение удельного сцепления грунта при $\phi = 20^\circ$ дает перепад коэффициента в пределах 1,05-1,65 (изменение на 57%) в статике и в пределах 0,81-1,30 (изменение на 60,5%) в динамике. Предельное равновесие сдвигающих и удерживающих сил в динамике наступает при $C = 1,25 \text{ т/м}^2$.

Эти результаты показывают большое влияние сцепления грунта на устойчивость откоса по сравнению с углом внутреннего трения.

В реальном массиве грунт имеет сопротивление сдвигу, характеризуемое углом внутреннего трения и удельным сцеплением. Сочетание этих двух показателей грунта может быть самым разнообразным. Поэтому удобно пользоваться номограммами зависимости коэффициента устойчивости и оползневого давления грунта от его прочностных свойств (ри-

сунок 2 и 3).

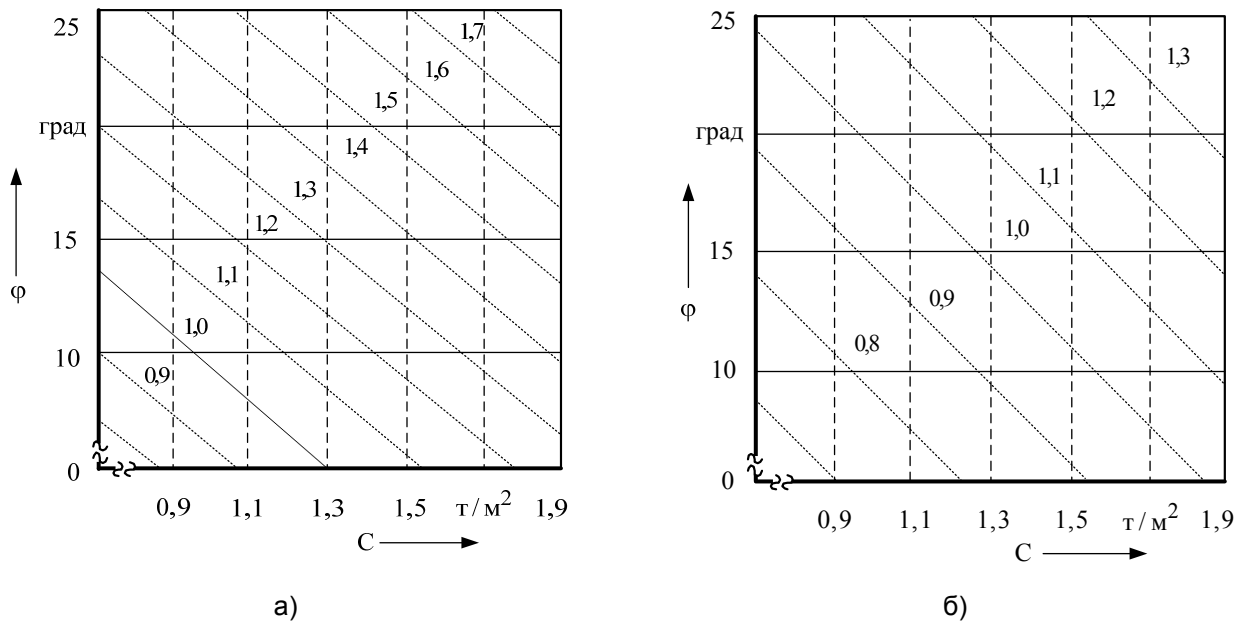


Рисунок 2 – Изменение коэффициента устойчивости в зависимости от прочностных свойств грунта: а)-статика; б)-динамика

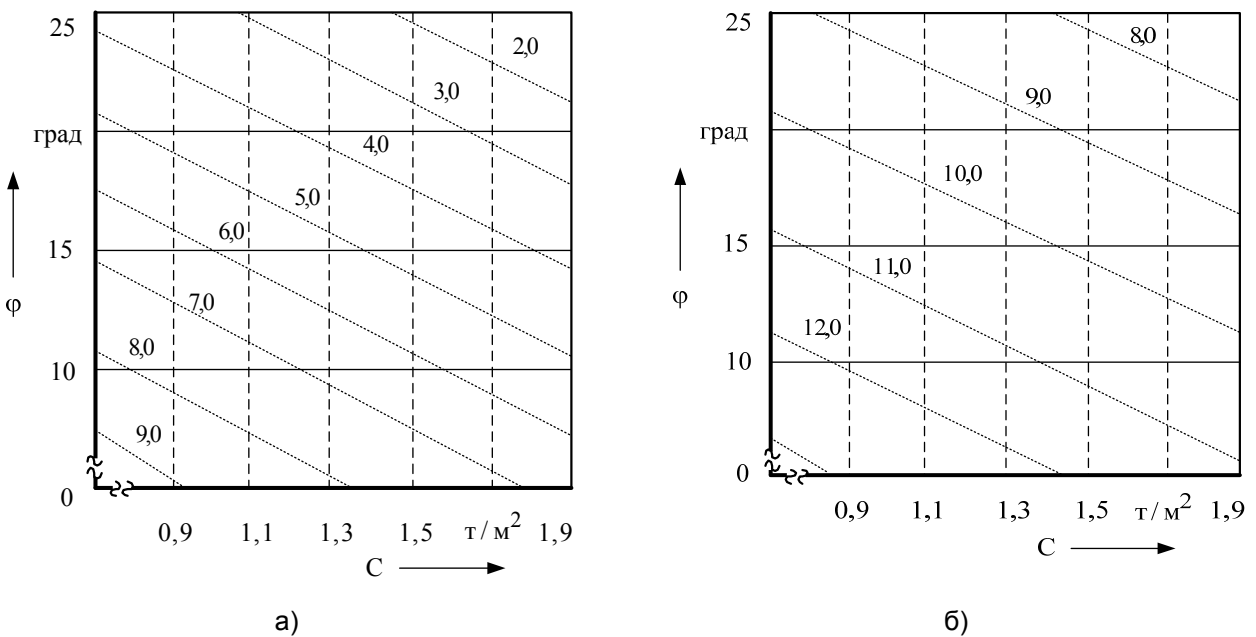


Рисунок 3 – Изменение расчетного оползневого давления в зависимости от прочностных свойств грунта: а)-статика; б)-динамика

Подобные зависимости можно построить для любых участков железных дорог.

Получив значения прочностных свойств грунта в результате натуральных или лабораторных испытаний, или после внедрения материалов, повышающих эти свойства, можно оперативно оценить устойчивость откоса и величину оползневого давления.

Любые сочетания прочностных свойств грунта, находящиеся левее прямой со значением 1,0 (рисунок 2.) могут привести к обрушению откоса. Как видно из этого рисунка, при учете в расчетах воздействия поездов критическая зона сочетания прочностных свойств грунта значительно увеличивается [2].

Итак, полученные данные наглядно показывают существенное влияние прочностных свойств грунта на устойчивость откосов насыпи и оползневое давление. Повышая эти свойства можно резко повысить устойчивость откосов и снизить нагрузку на опоры контактной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ли, В.Н. Неразрушающий контроль элементов контактной сети и токоприёмников электроподвижного состава электрифицированных железных дорог: монография / В.Н. Ли, С.Н. Химухин. -Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. -266 с.

2 Технические решения по усилению и стабилизации основной площадки земляного полотна на участках обращения вагонов с повышенными осевыми и погонными нагрузками тяжеловесных и длинносоставных поездов: отчет о НИР / ХабИИЖТ; рук. Г.М. Стоянович. -Хабаровск: ХабИИЖТ, 1989.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прочностные свойства грунта, коэффициент устойчивости, оползневое давление, устойчивость опор контактной сети, статика, динамика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ли Валерий Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ДВГУПС»
Сапов Александр Сергеевич, преподаватель ФГБОУ ВПО «ДВГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 680002, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47, ФГБОУ ВПО «ДВГУПС»

О НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ Понижения УРОВНЕЙ ВОДЫ С УЧЕТОМ ВСЕХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ И ПРОЕКТИРУЕМЫХ РУСЛОВЫХ КАРЬЕРОВ ДОБЫЧИ НЕРУДНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.А. Седых, А.Ю. Лапай

ON THE NECESSITY OF A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF WATER LEVELS REDUCTION IN VIEW OF ALL DEVELOPED AND DESIGNED CHANNEL CAREERS NONMETALLIC BUILDING MATERIAL

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.A. Sedykh, A.Yu. Lapay

The article presents the results of calculations and analysis of the curves of the free surface for starting and project status of the river bed. The necessity of accounting for the influence of lowering water levels projected quarries into account the impact of existing developed areas of production.

Keywords: curves of the free surface water, starting and project status channel, the impact assessment of channel pit, landing in water level

Приведены результаты расчетов и анализа кривых свободной поверхности для бытового и проектного состояния русла реки. Показана необходимость учета влияния на понижение уровней воды проектируемых карьеров с учетом воздействия уже имеющихся разрабатываемых участков добычи.

Ведение дноуглубительных работ и разработка карьеров в руслах рек может привести к понижению проектного уровня воды на вышележащем участке. Уменьшение амплитуды глубин в системе плес-перекат по длине реки, связанное со срезкой гребней перекатов, изменение формы поперечного сечения увеличивают пропускную способность русла, снижают гидравлические сопротивления и потери энергии, что ведет к понижению уровней воды. Механическое изменение пропускной способности русла на стадии разработки карьера способствует уменьшению уклона водной поверхности и понижению уровня в пределах карьера. Понижение уровней достигает наибольшей величины обычно у верхней границы участка добычи. Вследствие понижения уровня распространяется на большие расстояния вверх и вниз по течению от мест добычи. Протяженность зоны влияния карьера зависит от его размера и объема, естественного режима реки, состава аллювия, и объема стока наносов. По мере занесения карьера в нем осаждаются все меньше наносов и процесс восстановления русла идет с замедлением. В некоторых случаях исходный русловой рельеф полностью не восстанавливается никогда.

Посадка уровней на участке реки приводит к неблагоприятным изменениям не только в окружающей среде. Вызывая образование на вышележащем участке реки кривой спада и неконтролируемых размывов дна, снижение устойчивости причальных стенок, создаёт затруднения для осуществления судоходства. Карьеры, разрабатываемые в несудоходных рукавах, становятся причиной перераспределения расходов воды, что может влиять на направление основного течения, изменение мест отложения наносов, увеличение объемов дноуглубительных работ. Последствия добычи нерудного строительного материала проявляются и в развитии регрессивной и трансгрессивной эрозии, которые вызывают дальнейшее понижение уровней, проявляющихся выше и ниже по течению от мест добычи.

На каждой реке при дноуглублении возможно достижение максимально возможной гарантированной глубины, при которой минимальна посадка уровней. Г.Л. Гладков показал, что экологически безопасной является посадка уровней, не превышающая точности проме-

ров глубин, то есть 0,1 м [2]. Такую глубину принято также называть гидравлически допустимой.

Прогнозы русловых деформаций, основывающиеся на учете условий формирования русел рек и закономерностей их руслового режима с учетом влияния карьеров, имеют важное значение. Наибольшая напряженность создается при массовом расположении карьеров по длине участка реки, когда возникают глубокие искусственные плесовые ложины, уничтожаются крупные формы руслового рельефа: перекаты, острова. Значительное влияние на уровень режим оказывают также очень большие карьеры, длина и ширина которых соизмерима с размерами русла, а объем изъятых материалов в несколько раз превышает сток руслообразующих наносов за период эксплуатации руслового карьера. В тоже время существуют проверенные в лабораторных и натуральных условиях приемы разработки русловых карьеров, внедрение которых практически не сопровождается нарушением экологического состояния русел рек, или оно минимально. Они предусматривают при разработке карьеров сохранение крупных форм руслового рельефа, определяющих положение свободной поверхности потока на участке реки: перекатов, местных базисов эрозии; разработку карьеров небольших размеров, занимающих часть ширины русла (примерно 1/3), имеющих длину не более ширины русла и располагающихся в нижней по течению или затонской частях побочной, в отмерших протоках, которые отсоединяются от русла глухими дамбами. Кроме того, существуют нормы, обусловленные естественными характеристиками русла, которые лимитируют технологию и сроки разработки русловых карьеров [1].

Следует признать, что физическая концепция изменения гидравлики потока, стока донных наносов и морфологии русел в результате разработки русловых карьеров до настоящего времени недостаточно разработана. Кроме того, при подготовке документации на проектируемый карьер расчет возможной посадки уровня проводится с использованием русловой схемы участка реки, на которую наносится только рассматриваемый карьер. Влияние уже разрабатываемых карьеров, находящихся недалеко от проектируемого места добычи при этом не учитывается, хотя в первую очередь разрабатывались месторождения, которые находились вблизи потребителей: возле крупных городов, промышленных предприятий, строек. Поэтому в настоящее время массовые карьеры сосредоточены на реках наиболее освоенных и густозаселенных регионов.

Для примера комплексного расчета возможной посадки уровня воды был взят участок реки Обь на 758-782 км судового хода. На данном участке реки расположены два карьера: в Сергеевской протоке и у с. Белоярка. Были построены кривые свободной поверхности реки для бытового состояния, для проектного состояния в случае ведения добычи в каждом карьере отдельно и при совместной их разработке.

Так как отметки уровней кривой свободной поверхности являются расчетными значениями, важны принятые исходные данные для расчета. Помимо величины расхода воды большое влияние оказывает принятый коэффициент шероховатости русла. Поэтому при расчете уровней воды желательно использовать коэффициент шероховатости русла определенный по натурным исследованиям, чтобы результат был максимально приближенным к действительности. На рисунке представлены кривые свободной поверхности для 4 случаев. Для расчета был принят коэффициент шероховатости русла равный 0,035 (в соответствии со стандартной классификацией как для русла земляного неправильного поперечного сечения, с неровной поверхностью дна) [3]. Расчетный расход воды составил 1300 м³/с. Принималась следующая глубина разработки прорезей: 3 м от проектного уровня воды для карьера у с. Белоярка; 5 м – для карьера в Сергеевской протоке.

Полученные результаты показывают, что разработка каждого из карьеров по отдельности может дать посадку уровня воды, распространяющуюся, в основном, в пределах самого карьера и выше по течению. В случае разработки карьеров последовательно или одновременно общая посадка уровней воды может равняться сумме посадок от каждого карьера. Если допустить, что карьер у с. Белоярка уже разрабатывается, то при оценке возможной посадки уровня воды при разработке карьера в Сергеевской протоке, нужно учитывать понижение уровня воды, вызванное разработкой первого карьера. В противном случае, может оказаться, что при оценке влияния каждого карьера по отдельности возможная посадка уровней воды не будет превышать допустимую величину (0,10 м). В то время как при разработке двух карьеров, суммарная посадка уровней воды может превысить 0,10 м, что создаст осложнения в осуществлении судоходства на реке.

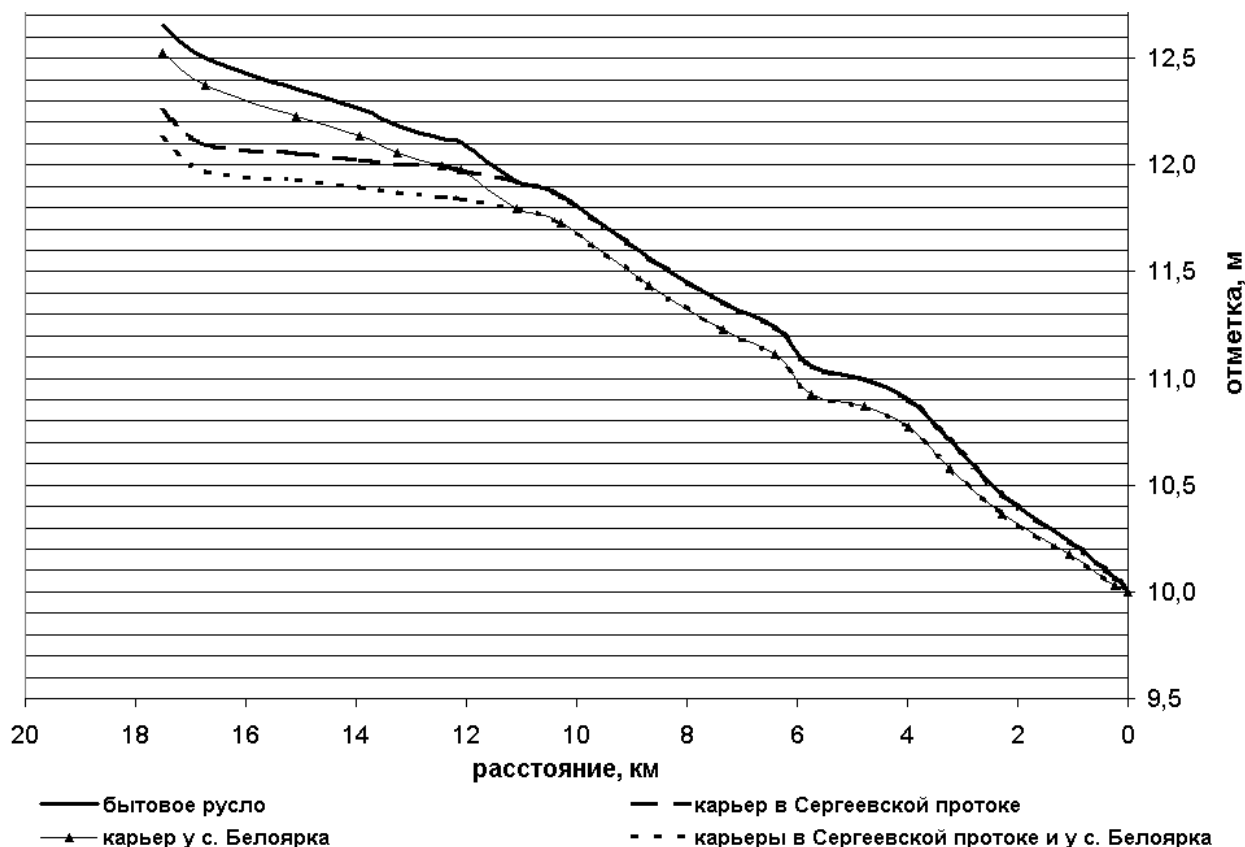


Рисунок – Кривые свободной поверхности для бытового и проектных состояний русла реки Обь

Подобные кривые свободной поверхности были построены для этого же участка реки, но при более низких уровнях и меньших расходах воды. Чем ниже задавался уровень, тем больше была величина возможной его посадки.

При рассмотрении вопроса о возможной посадке уровней воды необходимо делать оценку комплексно, с учетом совместно всех разрабатываемых и проектируемых русловых карьеров. Для урбанизированных рек целесообразно создавать генеральные схемы, которые будут отражать количество инженерных сооружений и объектов, в том числе и русловых карьеров. Это позволит более точно оценить проектное состояние реки при разработке нового карьера и его влияния на остальные объекты, а так же на безопасность судоходства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Беркович, К.М. Русловые процессы и русловые карьеры / К.М. Беркович. -М., 2005. -109 с.
- 2 Беркович, К.М. Экологическое русловедение / К.М. Беркович, Р.С. Чалов, А.В. Чернов. -М.: ГЕОС, 2000. -332 с., 56 ил.
- 3 Седых, А.В. Путевые работы на судоходных реках, справочное пособие / А.И. Седых, Ф.М. Чернышов, А.В. Кабанов. - М.: Транспорт, 1978. -328 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кривые свободной поверхности воды, бытовое и проектное состояние русла, оценка воздействия русловых карьеров, посадка уровня воды

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Седых Виталий Алексеевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Лалай Анна Юрьевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

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

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ НА ТОЧНОСТЬ ПРИЁМНИКА J-NAV500

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

В.А. Кац, Ю.А. Комаровский

A PRELIMINARY ESTIMATE OF IMPACT OF THE ANTENNA'S PATTERN ON THE ERROR RATE OF THE GPS-RECEIVER J-NAV500

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»
V.A. Katz, Yu.A. Komarovskiy

We have attempted to determine dependence of the error rate of the GPS receiver J-NAV500 on the directivity (or polar) diagram of its antenna using the envelope method. We have shown that the envelope method applied to this task requires a high-precision representation of the geodesic coordinates with a large number of decimal places.

Keywords: GPS-receiver, envelope method, error distribution, antenna's pattern

Сделана попытка с помощью контурного метода определить зависимость точности GPS-приёмника J-NAV500 от диаграммы направленности его антенны. Показано, что контурный метод для этой цели требует большой разрядности представления геодезических координат.

Когда оценивается точность определения горизонтальных координат приёмником спутниковой радионавигационной системы (СРНС), то чаще рассматривается влияние ионосферы, тропосферы, сооружений, затеняющих сигналы спутников и т.д. К сожалению, внимание исследователей не привлекает тема влияния на точность технических характеристик самого судового приёмника СРНС.

Обязательным устройством любого приёмника СРНС является его антенна. В судовых приёмниках применяются спиральные антенны. Конструктивно они выполняются в виде спирали проводника, обладающего высокой электропроводностью (медь, алюминий). Проволочная спираль или спираль тонкой и узкой фольги навивается на диэлектрик цилиндрической формы. Он помещается в пластмассовый герметичный корпус, заполненный внутри, как правило, обезвоженным азотом. Чтобы корпус антенны не перегревался под действием солнечных лучей, он всегда имеет белый цвет. От того, как изготовлена антенна, зависит качество работы приёмника СРНС, так как даже высокочувствительный приёмник не в состоянии восстановить то, что теряется в антенне.

Главной характеристикой любой антенны служит её диаграмма направленности. Диаграммой направленности принято считать график амплитуды электродвижущей силы в антенне в зависимости от направления на источник электромагнитных колебаний. Диаграмма направленности (ДН) антенны приёмника СРНС характеризует интенсивность приёма сигналов спутников в различных направлениях. ДН антенны приёмника СРНС учитывает азимут источника электромагнитных колебаний, которым является спутник, и высоту спутника над плоскостью горизонта. Таким образом, ДН антенны приёмника СРНС представляет собой сложную поверхность, каждая точка которой отстоит от фазового центра антенны на расстоянии, пропорциональном мере интенсивности принимаемого сигнала, а направление на неё совпадает с направлением на спутник. Идеальная форма ДН должна иметь вид полусферы. На практике ДН реальной антенны отличается от формы ДН идеальной антенны. В силу этого неизбежно присутствуют направления, по которым сигналы спутника принимаются с меньшей интенсивностью, нежели по другим направлениям. Так как при формировании текущего рабочего созвездия одним из критериев выступает интенсивность принимаемого сигнала, то зачастую подбираются в рабочее созвездие не те спутники, которые могут создать лучшую геометрию расположения. Следовательно, ДН антенны приёмника может ухудшать точность определения координат судна.

К сожалению, в технических описаниях судовых приёмников СРНС отсутствуют сведения, проливающие свет на вид ДН антенны, входящей в состав комплекта данного приёмника. Для антенн геодезических приёмников измерения ДН выполняются в обязательном порядке. В последние годы способы измерения характеристик ДН антенн приёмников СРНС упрощены и автоматизированы. Чаще применяется способ, при котором в качестве точечного радиоисточника выбирается один спутник, расположенный ближе к зениту. При медленном вращении антенны вокруг её вертикальной оси и постепенном наклонении вертикаль-

ной оси непрерывно измеряется электрический сигнал на выходе антенны. Данные измерений затем обрабатываются, в результате чего создаётся электронная модель поверхности диаграммы направленности.

До отмены режима избирательной доступности в начале мая 2000 года проблема влияния ДН антенны на точность работы судового приёмника СРНС не рассматривалась. Подобные исследования касались исключительно геодезических приёмников. В последние годы значительно увеличилась чувствительность судовых приёмников СРНС, а также непрерывно возрастает число одновременно наблюдаемых спутников за счёт ввода в эксплуатацию новых СРНС. Поэтому возникает оправданный интерес к оценке вклада ДН антенны в бюджет погрешностей обсервованных координат современного судового приёмника СРНС. Попытке оценить этот вклад посвящена данная статья.

В работе делается предположение о влиянии ДН на вид фигуры погрешностей обсервованных координат. Понятно, что вид фигуры погрешностей обсервованных координат не повторяет ДН. Более того, на вид фигуры распределения погрешностей обсервованных координат в первую очередь будет оказывать влияние алгоритм обработки данных программного обеспечения приёмника СРНС. Также известно, что протяжённые металлические предметы, расположенные рядом со спиральной антенной, искажают принимаемый сигнал спутников. Отделить влияние перечисленных факторов на форму фигуры погрешностей можно только в ходе многочисленных и длительных экспериментов. Поэтому в данной статье в качестве предварительной оценки влияния ДН применяется сравнение между собой фигур погрешностей координат приёмников GPS-128 американской компании Garmin и J-NAV500 компании JRC (Japan Radio Corporation).

Результаты исследования фигуры погрешностей обсервованных координат приёмника GPS-128 представлены в работе [1]. Фигуры погрешностей приёмника GPS-128 были получены контурным способом, предложенным в [2]. Для расчётов фигуры погрешностей приёмника J-NAV500 взяты результаты экспериментальных наблюдений за его работой в период с декабря 2008 года по июль 2009 года. Наблюдения проводились в лаборатории радионавигационных приборов и систем кафедры технических средств судовождения Морского государственного университета им. адм. Г.И. Невельского. Антенна приёмника J-NAV500 располагалась над металлической кровлей учебного корпуса №1. Фиксация обсервованных координат и соответствующих им моментов времени производилась без перерывов автоматически каждые две секунды с записью на жёсткий диск ноутбука. Информация в ноутбук записывалась в формате NMEA 0183. Для обработки были выбраны только те обсервованные координаты, которые получены при автономном режиме работы приёмника. Всего было зафиксировано 1 271 426 таких обсерваций.

На первом этапе обработки были рассчитаны по всей полученной выборке величины средних значений широты φ_{cp} и долготы λ_{cp} , а также величины их средних квадратических погрешностей (СКП) σ_φ и σ_λ в угловой мере

$$\varphi_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_i; \lambda_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i; \sigma_\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\varphi_i - \varphi_{cp})^2}{N}}; \sigma_\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\lambda_i - \lambda_{cp})^2}{N}}, \quad (1)$$

где φ_i, λ_i – текущие обсервованные геодезические широта и долгота в системе координат WGS-84 соответственно;

N – объём исходной выборки, $N = 1\,271\,426$.

СКП широты s_φ и СКП долготы s_λ в метрах рассчитывались по следующим формулам

$$s_\varphi = \sigma_\varphi \times l_m; s_\lambda = \sigma_\lambda \times l_p; l_m = \frac{a(1-e^2) \operatorname{arc} 1'}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi_{cp})^3}}; l_p = \frac{a \cos \varphi_{cp} \operatorname{arc} 1'}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi_{cp}}}, \quad (2)$$

где l_m, l_p – длина одной минуты в метрах меридиана и параллели соответственно в широте φ_{cp} ;

a – длина большей полуоси референц-эллипсоида WGS-84;

e – его первый эксцентриситет.

В расчётах принимались следующие значения:

$$a = 6\,378\,137 \text{ м}; e = 0,0818191084 [3]; \operatorname{arc} 1' = 0,0002908882.$$

В ходе вычислений были получены следующие значения:

$$\varphi_{cp} = 0,16969'; \lambda_{cp} = 0,055814'; s_{\varphi} = 1,3622 \text{ м}; s_{\lambda} = 1,006 \text{ м}.$$

Приёмник J-NAV500 выводил в формате NMEA obserвованные координаты с разрядностью до тысячных долей минуты. Этой разрядности недостаточно для построения точного контура погрешности. Поэтому в дальнейшей обработке данных применялась процедура сглаживания методом простого скользящего среднего. С помощью сглаживания искусственно увеличивалась разрядность, а также частично устранялись случайные погрешности obserвованных координат, возникающие за счёт высокочастотных мерцаний ионосферы [4].

При выполнении процедуры сглаживания из всего массива наблюдений выбирался ряд последовательных отсчётов широт $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_n$. Будем называть число n шириной окна сглаживания. Пусть φ_i соответствует середине окна сглаживания. Сглаженным значением широты, соответствующим φ_i , будет φ_{sm} [5]

$$\varphi_{sm} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_i + \dots + \varphi_n}{n}.$$

Если $n \rightarrow \infty$, то φ_{sm} будет сходиться к величине систематической погрешности определения широты, так как математическое ожидание случайной погрешности будет стремиться к нулю на основании первого свойства случайной величины [6]. Если при той же ширине окна сглаживания выполнить осреднение для $i+1$ середины и т.д., то в итоге получим сглаженный временной ряд, длина которого будет на n короче исходного временного ряда. Такую процедуру принято называть простым линейным сглаживанием временного ряда с помощью скользящего среднего [5]. Эта процедура была использована для obserвованных широт и долгот приёмника Garmin GPS-128 при ширине окна сглаживания 1 мин и 2 мин [1].

Таблица – Параметры распределений сглаженных координат приёмника J-NAV500

Параметры распределений	Сглаженные массивы	
	за 1 минуту	за 2 минуты
Средняя широта, доли мин	0,169665	0,169665
СКП широты, мин	0,000717	0,000696
СКП широты, м	1,328	1,289
Средняя долгота, доли мин	0,058112	0,058112
СКП долготы, мин	0,000737	0,000717
СКП долготы, м	0,999	0,974
Объём выборки	1271876	1271426

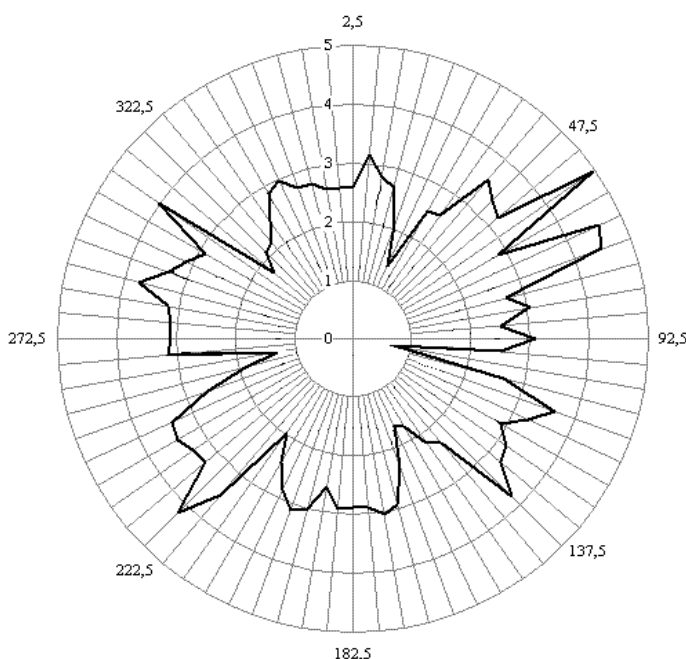


Рисунок – Контур погрешностей приёмника J-NAV500 при сглаживании за 2 минуты

Для построения контура погрешностей координат приёмника J-NAV500 был выбран массив координат, сглаженных за 2 минуты. Расчёты велись так, как это описано в работе [1]. По результатам расчётов был построен контур погрешностей координат для вероятностей 0,95. Этот контур представлен на рисунке.

О результатах сглаживания можно судить с помощью приведённой таблицы. В ней содержатся рассчитанные по формулам (1) и (2) параметры распределения широт и долгот приёмника J-NAV500 сглаженных массивов за 1 мин и за 2 мин.

Сравнение данных таблицы с параметрами исходного массива наблюдений позволяет сделать вывод о незначительном изменении средних и СКП координат в результате сглаживания.

На рисунке видно, что максимальная точность определения координат достигается по истинным направлениям 30°, 102°, 157°, 218°, 265° и 315°. В этих направлениях истинное место судна может отклоняться от осреднённого места на расстояния менее 2 м с вероятностью 0,95. В направлении 57° координаты определяются с точностью в 8 раз хуже по сравнению с точностью в направлении

102°.

Чтобы сделать вывод о влиянии ДН антенны на распределение точности координат приёмника J-NAV500, необходимо сравнить его контур погрешностей с контурами погрешностей приёмника Garmin GPS-128, полученными в работе [1]. В результате сравнения оказалось, что форма и ориентация контура GPS-128, полученного при осреднении в 1 мин для вероятностей 0,68, практически совпадают с контуром приёмника J-NAV500. Отсюда можно сделать следующие выводы:

1 Обнаружена близость форм и ориентации контуров погрешностей приёмников J-NAV500 и GPS-128.

2 Схожесть форм и ориентации контуров следует рассматривать как признак схожести алгоритмов вычисления обсервованных координат.

3 Сглаживание координат даже за две минуты не приводит к сглаживанию формы контура погрешностей приёмника J-NAV500.

4 Однозначного вывода о присутствии признаков влияния ДН антенны на точность определения координат сделать пока не удастся, так как применение метода контуров погрешностей требует большой разрядности представления координат и одинаковых условий проведения экспериментальных наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кац, В.А. Погрешности приёмника GARMIN GPS-128 при частичном затенении сигналов спутников / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 173-178.
- 2 Комаровский, Ю.А. Контурный метод оценки точности ОМС приёмником СРНС Навстар GPS / Ю.А. Комаровский // Вестн. Мор. гос. ун-та. Сер. Судовождение. -Владивосток, 2005. -Вып.9. -С. 10-13.
- 3 Department of Defense World Geodetic System 1984. DMA TR 8350.2. U.S. Geological Survey, October, 1993. -152 p.
- 4 Комаровский, Ю.А. Оценка влияния мерцания ионосферы на случайные погрешности координат GPS-приёмника GP-37 / Ю.А. Комаровский // Солнечная активность и её влияние на Землю: тр. Уссурийск. астрофиз. обсерватории. -Владивосток, 2009. -Т.12, -Вып.12. -С. 60-69.
- 5 Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон. -М.: Мир, 1976. -755 с.
- 6 Кондрашихин, В.Т. Теория ошибок и её применение к задачам судовождения / В.Т. Кондрашихин. -М.: Транспорт, 1969. -256 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: GPS-приёмник, контурный метод, распределение погрешностей, диаграмма направленности антенны

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кац Владимир Александрович, инженер, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского» Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, СИС, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»

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

СОЗДАНИЕ АВТОРУЛЕВОГО СО СПЕЦИАЛЬНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЕРА

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

А.В. Попов

CREATION OF THE AUTOPILOT WITH THE SPECIAL INTELLECTUAL ADDITIVE ON THE BASIS OF THE INDUSTRIAL CONTROLLER

«Volga state academy of water transport»

A.V. Popov

The algorithm of management by a course of a vessel with inclusion in it of a stimulator which carries out self-fine tuning of parameters of management under changing external conditions and approaches to zero a static error is developed. For debugging and check of efficiency of its work in actual practice, the algorithm is realized on the basis of the industrial controller.

Keywords: management of a vessel, intellectual management, dynamic systems, the bifurcation theory, phase stains, control means movement

Разработан алгоритм управления курсом судна с включением в него стимулятора, который осуществляет самоподстройку параметров управления под изменяющиеся внешние условия и обнуляет статическую ошибку. Для отладки и проверки эффективности его работы в реальных условиях, алгоритм реализован на базе промышленного контроллера.

Современный подход к созданию систем автоматического управления требует широкого использования математического моделирования. Для разработки и оценки эффективности алгоритмов управления движением судна принята математическая модель, которая доста-

точно точно отражает динамику реального судна, позволяет изучить ее особенности при возникновении ветра (зарождения и эволюции диаграммы управляемости), но тем не менее является достаточно простой. Рассмотрены как устойчивые, так и неустойчивые на курсе суда.

Динамическая модель судна с учетом ветрового воздействия записывается в виде:

$$\begin{aligned}\dot{\omega} &= a\omega + b\beta + s_1 U + M(\psi, \gamma); \\ \dot{\beta} &= c\omega + d\beta + h\beta|\beta| + s_2 U + P(\psi, \gamma); \\ \dot{\psi} &= \omega;\end{aligned}\tag{1}$$

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \cos(\psi - \beta); \\ \dot{y} &= \sin(\psi - \beta),\end{aligned}\tag{2}$$

где x, y – координаты центра тяжести судна;

ψ – угол курса;

ω – угловая скорость;

β – угол дрейфа между линейной скоростью центра тяжести и продольной осью симметрии судна;

U – параметр управления, равный углу отклонения пера руля.

Координаты центра тяжести судна x, y в начальный момент будем полагать совпадающими с началом отсчета. Система координат центра тяжести x, y введена таким образом, чтобы ось абсцисс совпадала с направлением истинного ветра ($V_{iy} = 0, V_i = V_{ix} > 0$). Аэродинамические момент и поперечная сила соответственно равны:

$$\begin{aligned}M(\psi, \gamma) &= g_1 V^2 \sin \gamma [1 - \cos \gamma (1 + n \sin^2 \gamma)]; \\ P(\psi, \gamma) &= g_2 V^2 \sin \gamma,\end{aligned}\tag{3}$$

где γ – угол ветра относительно судна;

$V_{i,1}$ – относительная скорость ветра, $V_{i,1} = 2,5$.

Соотношения между переменными, характеризующими ветровое воздействие на судно следующие:

$$\begin{aligned}V^2 &= V_i^2 - 2V_i \cos(\psi - \beta) + 1; \\ V_i \sin(\psi + \gamma) - \sin(\beta + \gamma) &= 0.\end{aligned}\tag{4}$$

Неизвестные аэродинамические коэффициенты g_1, g_2 косвенным путем определяются двумя первыми уравнениями системы (1) по результатам натурных испытаний в установившемся режиме (β, U, γ, V), приводимых в литературе [1-3].

Рулевое управление осуществляется в соответствии со следующим законом:

– при ручном управлении

$$U = U(t);\tag{5}$$

– при пропорционально-дифференциальном (ПД) авторулевом (АР)

$$\dot{U} = k_1(\psi - \psi^*) + k_2 \omega;\tag{6}$$

– при интеллектуальном АР

$$\dot{U} = k_1(\psi - \psi^*) + k_2 \omega + k_3(U - U^*),\tag{7}$$

где U^* – требуемое отклонение пера руля, взятое из диаграммы управляемости.

Коэффициенты k_1, k_2, k_3 при угле курса, угловой скорости и отклонении пера руля выбираются при настройке авторулевого.

Вводимая интеллектуальная составляющая, позволяющая улучшить качество управления, состоит из добавки в алгоритм АР дополнительного отклонения пера руля U^* , соответствующего выбранному курсу ψ^* . Таким образом, руль переключается не только с учетом угловой скорости и угла курса судна (стандартный ПД), но и с учётом положения пера руля U^* , определяемого диаграммой управляемости (рисунок 1) [4, 5].

При усилении ветра может произойти ситуация потери управляемости, когда диаграмма своими крайними значениями переключки руля выходит за порог управляемости. Опытный судоводитель может выйти из ситуации неуправляемости, увеличив скорость судна и перейдя в режим ручного управления. В предлагаемом алгоритме в качестве решения проблемы осуществляется временное увеличение скорости судна (соответствует снижению от-

носительной скорости ветра) с деформаций диаграммы так, чтобы она не выходила за порог управляемости, с последующим восстановлением ее по определенно отработанному алгоритму.

Ликвидация статической шибки путем введения стимулятора в алгоритм авторулевого. Интеллектуальный процесс управления судном, путем введения в уравнение U^* , описывается выражением (7). Однако диаграмма меняется с изменением внешних условий (скорость и направление ветра, глубина форватера и т.п.). Даже солидная база данных, созданная практическим образом на основании построения диаграммы управляемости в натуральных условиях, не позволит избежать ошибок. Таким образом, установленное значение U^* , соответствующее «исходной диаграмме управляемости», не будет соответствовать новому значению

$$U^{**} = U^* + \Delta U,$$

для того же ψ^* , но в изменившихся условиях.

В результате устанавливается некоторый стационарный режим. Таким образом, при управлении судном авторулевым с интеллектуальной вставкой может установиться ошибочный курс – ψ^{**} со статической ошибкой $\Delta\psi$. Ее значение будет меняться при изменении V_i в зависимости от участка диаграммы управляемости. Например, судно движется прямым курсом. В процессе движения незначительно изменяется скорость ветра с $V_{i,1} = 2,5$ до $V_{i,2} = 2,45$. Курс неожиданно изменяется. Возникает статическая ошибка $\Delta\psi = 0,1$ рад. При уменьшении скорости ветра до $V_{i,2} = 2,44$ значение статической ошибки увеличивается до $\Delta\psi = 0,15$ рад. С увеличением разницы между действующей и прошлой скоростями ветра ее значение будет расти. Например, значение статической ошибки при изменении скорости на ветра на 2% может измениться в 10 раз.

Предложен способ ликвидации статической ошибки установкой стимулятора, который периодически (через интервал времени τ) зануляет второе слагаемое. В основу стимулятора заложено отображение пространства состояний динамической системы в себя $U(t_i) \rightarrow U(t_i + \tau)$ в процессе ее естественного функционирования. Настройка стимулятора производится изменением интервала времени отображения τ . Это позволяет авторулевому устанавливать U^* , равное существующей перекладке руля, и синхронизировать ее с углом перекладки, приближающемуся к нужному значению в соответствии с диаграммой управляемости – U^* . Параметр τ играет важнейшую роль в обеспечении качества управляемости. Переходный процесс продолжается до полного зануления обоих слагаемых $(U - U^*)$ и $(\psi - \psi^*)$ [6].

Роль варьирования значения параметра τ в обеспечении качества управления была исследована методом математического моделирования. Для исследования эффективности работы стимулятора проведено несколько экспериментов.

– Изменение частоты включения стимулятора. При соответствующем подборе постоянной времени τ стимулятора качество переходных процессов значительно улучшается. Для удержания судна на курсе требуется перекладка руля с меньшей амплитудой и меньшей длительностью переходных процессов. Данное условие позволит сэкономить топливо и уменьшить износ оборудования. В качестве тестового примера был взят маневр выхода судна на курс для двух разных скоростей ветра. На рисунках 2-4 представлена траектория центра тяжести судна относительно осей ОХ и ОУ, и изменения во времени величин угловой скорости. Приведен маневр смены курса при увеличении скорости ветра на 10%.

– Под управлением ПД авторулевого $V_i = 2,28$; $\tau = 4$ с. Судно выходит на требуемый курс $Kurs_{зад} = 2,323$ рад из начальных условий: $U(1) = 0,1$; $U(2) = 0,2$; $U(3) = 0,3$; $U(4) = 0$; $U(5) = 0$; $U(6) = -0,2$ Скорость ветра $V_i = 2,28$ (рисунок 2).

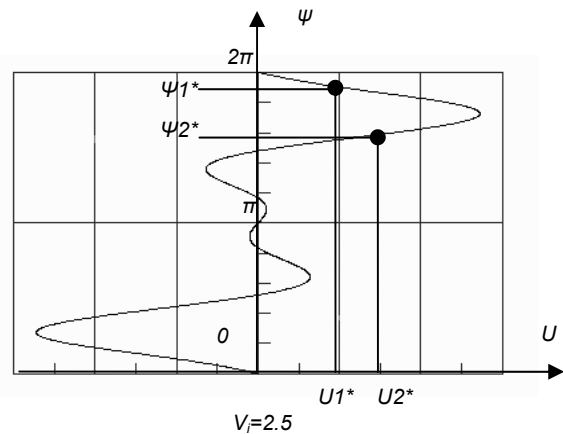
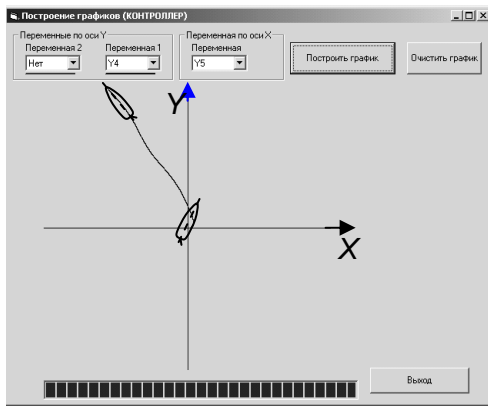
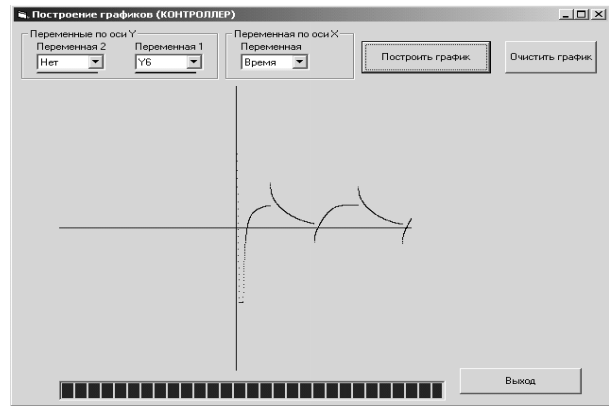


Рисунок 1 – Диаграмма управляемости



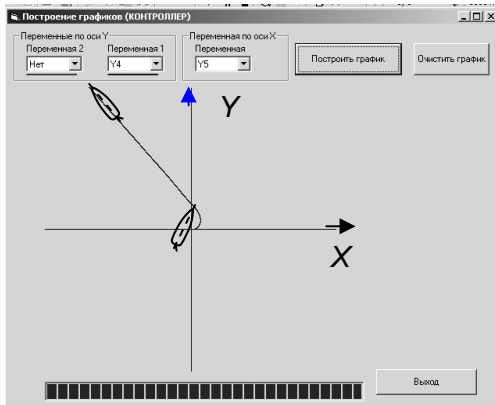
а)



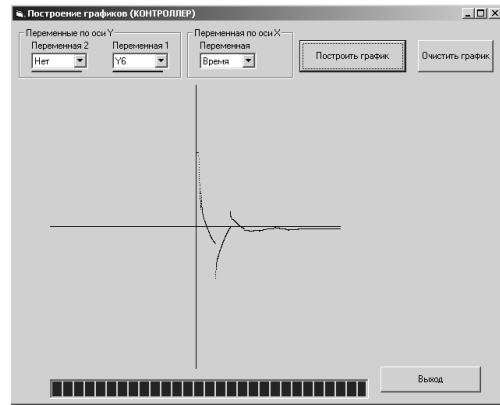
б)

Рисунок 2 – Траектория центра тяжести судна относительно осей OX и OY (а), и изменения во времени величин угловой скорости (б)

– Низкая частота включения стимулятора $V_i = 2,28$; $\tau = 4$ с. Судно выходит на требуемый курс $Kurs_{зад} = 2,323$ рад. из начальных условий: $U(1) = 0,1$; $U(2) = 0,2$; $U(3) = 0,3$; $U(4) = 0$; $U(5) = 0$; $U(6) = -0,2$ Скорость ветра $V_i = 2,18$ (рисунок 3)



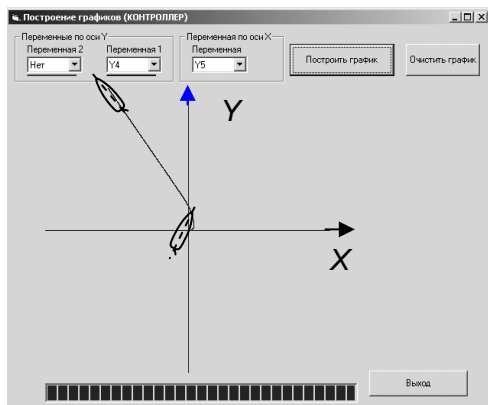
а)



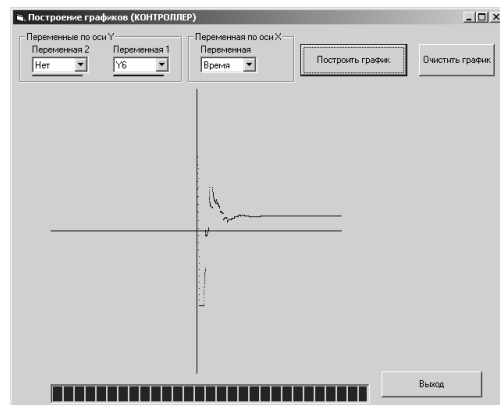
б)

Рисунок 3 – Траектория центра тяжести судна относительно осей OX и OY (а), и изменения во времени величин угловой скорости (б)

– Высокая частота включения стимулятора $V_i = 5$; $\tau = 1$ с. Судно выходит на требуемый курс $Kurs_{зад} = 2,323$ рад. из начальных условий: $U(1) = 0,1$; $U(2) = 0,2$; $U(3) = 0,3$; $U(4) = 0$; $U(5) = 0$; $U(6) = -0,2$ Скорость ветра $V_i = 5$ (рисунок 4)



а)



б)

Рисунок 4 – Траектория центра тяжести судна относительно осей OX и OY (а), и изменения во времени величин угловой скорости (б)

В результате проведенных экспериментов выяснено, что у судна под управлением стандартного ПД авторулевого после окончания переходного процесса устанавливается колебательность на курсе (рисунок 2а). У авторулевого со стимулятором траектория значительно плавнее (рисунок 3 и 4).

ВЫВОДЫ: разработан и протестирован алгоритм автоматического управления движением судна по курсу с использованием интеллектуального стимулятора, выполнено программирование и отладка алгоритмов управления на промышленном контроллере, произведен ряд расчетов с использованием предложенного алгоритма, начато исследование результатов произведенных расчетов, разработан план проведения экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Войткунский, Я.И. Справочник по теории корабля. Судовые движители и управляемость / Я.И. Войткунский, Р.Я. Першиц, И.А. Титов. -Изд. 2-е, перераб. и доп. -Л.: Судостроение, 1973. -511 с.
- 2 Гофман, А.Д. Основы теории управляемости судна: курс лекций / А.Д. Гофман. -СПб.: СПбГУВК, 1999. -100 с.
- 3 Фейгин, М.И. Бифуркационный подход к исследованию управляемости судна при ветровом воздействии / М.И. Фейгин // Вестн. Нижегород. ун-та. Мат. моделирование и оптимал. упр. -Н. Новгород, 1998. -Вып. 2(19). -С. 41-49.
- 4 Фейгин, М.И. Зарождение и эволюция диаграммы управляемости при ветре / М.И. Фейгин // Вестн. ВГАВТ. -Н.Новгород, 2005. -Вып.14: Моделирование и оптимизация сложных систем: межвуз. сер. -С. 9-17.
- 5 Попов, А.В. О рождении и исчезновении стационарных режимов движения судна при ветре / А.В. Попов // XI Нижегородская сессия молодых ученых. Математические науки: материалы докл. -Н.Новгород, 2006. -С. 39-40.
- 6 Попов, А.В. Управление курсом судна с введенным в алгоритм авторулевого стимулятором / А.В. Попов, М.И. Фейгин // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. -Н.Новгород, 2006. -Т.1. -С. 98-99.
- 7 Грошева, Л.С. Разработка системы управления на основе компьютерной модели динамики судна с авторулевым, реализуемым на базе промышленного контроллера / Л.С. Грошева, А.В. Попов, М.И. Фейгин // Проблемы машиноведения: науч. конф., посвящ. 70-летию Ин-та машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва-Звенигород, 12-14 нояб. 2008 г. -М. -С. 234-236.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: управление судном, интеллектуальное управление, динамические системы, теория бифуркации, фазовые пятна, устройства управления движением
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Попов Александр Валерьевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ СЕЧЕНИЯ ПИЛЛЕРСА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Бимберек

PERFECTION OF PILLAR SHAPE CROSS-SECTION DETERMINATION PROCEDURY «Novosibirsk state academy of water transport» P.A. Bimberekov

Hereby was examined activity correctness of Russian River Registry (RRR) analytical machinery on pillar cross-section shape selection by concrete examples. It was shown possibility of error of existing procedure to dangerous side during selection of box-type shape put together out of two equal angle irons. It was suggested variant of such procedure improvement basing on usage of expression for least pillar's section radius of inertia.

Keywords: pillar's section, section radius of inertia, shape selection

Рассмотрена на конкретных примерах корректность работы аналитического аппарата Российского Речного Регистра (РРР) по подбору профиля поперечного сечения пиллерса. Показана возможность ошибки существующей методики в опасную сторону при подборе коробчатого профиля, составленного из двух равнополочных уголков. Предложен вариант усовершенствования такой процедуры на основе использования выражения для наименьшего радиуса инерции сечения пиллерса.

Характеристика коэффициента удельного момента инерции, β , есть параметр поперечного сечения стержня, для наиболее употребимых вариантов которых в Правилах Российского Речного Регистра (РРР) [1] и даны соответствующие значения. Вопрос тут только в том, насколько данные значения β , обоснованы, равнозначны ли они для разных вариантов оговоренных сечений. Иначе, нет ли необоснованного или хотя бы неравнозначного подхода в их определении. Ответом является статья [2], где четко показано, что в пределах существующего сортамента коэффициенты β , обозначенные в Правилах РРР, могут существенно отличаться от возможных в практической реализации. Причем такое отличие может быть как

в меньшую, так и в большую сторону. Какое отклонение получается при этом в опасную или безопасную сторону можно определить только при помощи конкретного анализа. При этом для квадратного коробчатого сечения значение коэффициента β оказалось неравнозначно занижено по сравнению с другими оговоренными видами сечений.

Поскольку определение величин коэффициентов β для разных видов оговоренных Правилами РРР сечений вероятней всего велось на основе части профилей сортамента, оговоренных ОСТ, то ниже приведем некоторые графики по основной части ОСТ5.9084-72 (отсутствует уголок 36 мм, так как его нет в имеющейся редакции ГОСТа [3]), приведенных в справочнике [4]. Рисунок уголка по ГОСТ с указанием основных осей представлен на рисунке 1

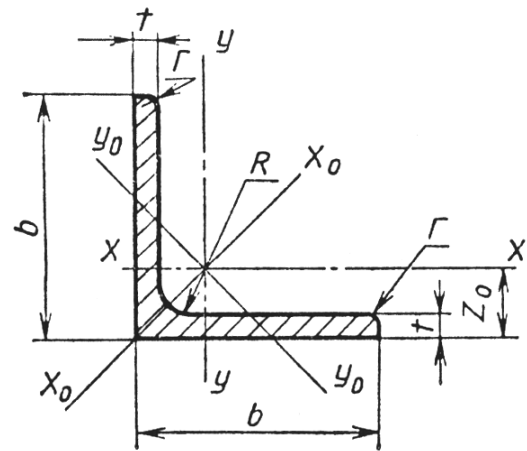


Рисунок 1 – Схема поперечного сечения равнополочного уголка [3]

Из рисунка 2 видно, что значения квадрата минимального радиуса инерции для изолированного уголка $I_{мин}/F$ хорошо ложатся на единые кривые. Из рисунка 3 видно, что положение ординаты нейтральной оси сохранило аппроксимационное выражение как для всего сортамента [2] и удовлетворительно описывает действительные значения.

Из рисунка 4 видно, что значения коэффициента β имеют существенно меньший разброс относительно аппроксимирующей кривой, чем у всего сортамента [1]. Причем очевидно, что часть изолированных профилей, особенно до 40 мм имеет значение этого коэффициента (по оси y_0-y_0) менее принятого РРР (0,44).

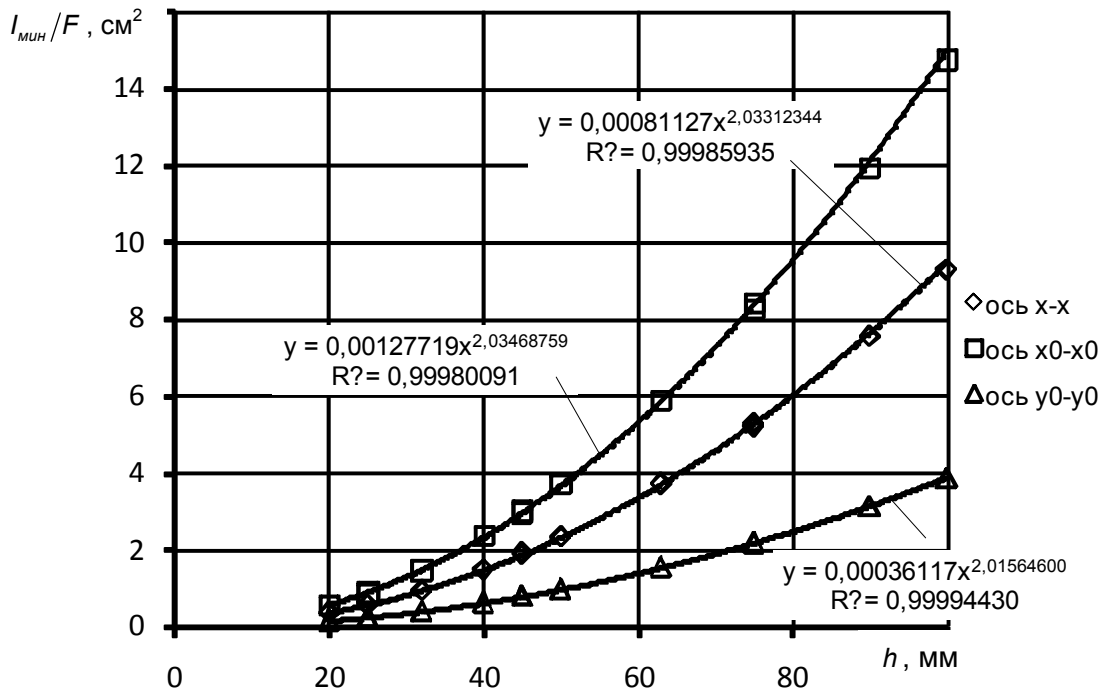


Рисунок 2 – Зависимости отношения $I_{мин}/F = f(h)$ для равнополочных горячекатаных уголков по ОСТ5.9084-72

Для оценки произведем расчет для следующих уголков: уголка 25×4, имеющего самое низкое из всех профилей значение, в частности, $\beta = 0,5456$ относительно оси x-x; 75×6, имеющего самое высокое значение $\beta = 0,7772$ относительно оси x-x; 45×5, имеющего примерно среднее значение $\beta = 0,6605$ относительно оси x-x. Для установления действительного расположения уголков в коробчатом профиле изобразим сечение (рисунок 5). Расчет коэффициента β для коробчатого профиля сведем в таблицы 1-3.

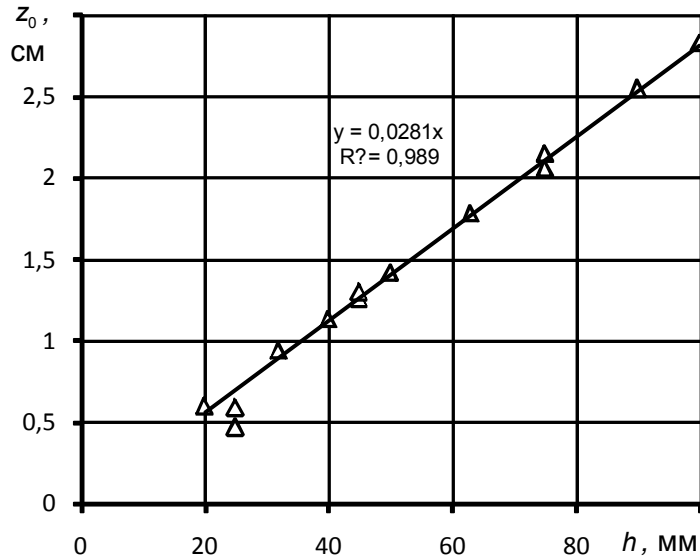


Рисунок 3 – Зависимость вида для $z_0 = f(h)$ равнополочных горячекатаных уголков по ОСТ5.9084-72

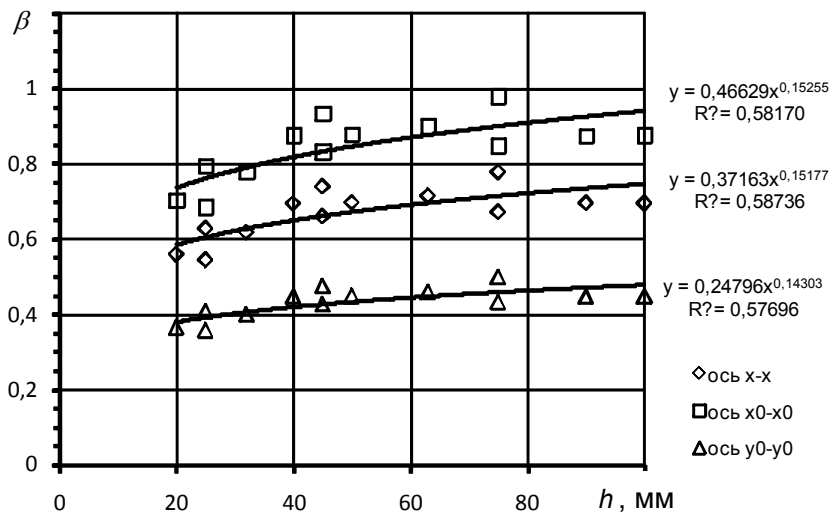


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента удельного момента инерции для равнополочных горячекатаных уголков по ОСТ5.9084-72

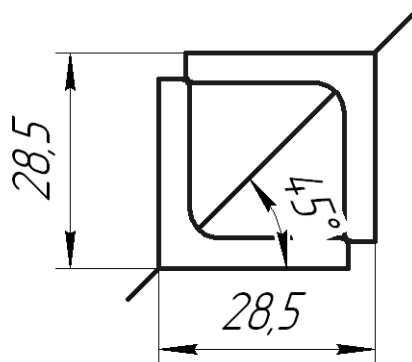


Рисунок 5 – Эскиз коробчатого профиля из уголков 25×4 (соединительная прокладка с ошибкой в безопасную сторону опущена)

СУДОВОЖДЕНИЕ

Таблица 1 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{мин}/F$ для коробчатого сечения 25×4

№	Относительная площадь	z_0 , см	$Fz_0/F = z_0$, см	$Fz_0^2/F = z_0^2$, см ²	$I_{мин} (соб)/F$, см ²
1	1	0,76	0,76	0,5776	0,5537
2	1	2,09	2,09	4,368	0,5537
Сумма	2	1,425	2,85	6,053	

$$I_{мин}/F (\text{короб}) = I_{мин}/(2F) = 0,9959 \text{ см}^2, \quad (3)$$

тогда

$$I_{мин} = [I_{мин}/(2F)]2F = 3,705 \text{ см}^4; \quad (4)$$

$$r_{мин} = 0,9979 \text{ см}; \quad (5)$$

$$\beta = r_{мин}/\sqrt{2F} = 0,5174. \quad (6)$$

Таблица 2 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{мин}/F$ для коробчатого сечения 75×6

№	Относительная площадь	z_0 , см	$Fz_0/F = z_0$, см	$Fz_0^2/F = z_0^2$, см ²	$I_{мин} (соб)/F$, см ²
1	1	2,06	2,06	4,244	5,304
2	1	5,855	5,855	34,281	5,304
Сумма	2	3,9575	7,915	49,13	

$$I_{мин}/F (\text{короб}) = I_{мин}/(2F) = 8,905 \text{ см}^2, \quad (7)$$

тогда

$$I_{мин} = [I_{мин}/(2F)]2F = 156,36 \text{ см}^4; \quad (8)$$

$$r_{мин} = 2,984 \text{ см}; \quad (9)$$

$$\beta = r_{мин}/\sqrt{2F} = 0,712. \quad (10)$$

Таблица 3 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{мин}/F$ для коробчатого сечения 45×5

№	Относительная площадь	z_0 , см	$Fz_0/F = z_0$, см	$Fz_0^2/F = z_0^2$, см ²	$I_{мин} (соб)/F$, см ²
1	1	1,30	1,30	1,69	1,872
2	1	3,575	3,575	12,78	1,872
Сумма	2	2,4375	4,875	18,214	

$$I_{мин}/F (\text{короб}) = I_{мин}/(2F) = 3,166 \text{ см}^2, \quad (11)$$

тогда

$$I_{мин} = [I_{мин}/(2F)]2F = 27,16 \text{ см}^4; \quad (12)$$

$$r_{мин} = 1,779 \text{ см}. \quad (13)$$

$$\beta = r_{мин}/\sqrt{2F} = 0,6074. \quad (14)$$

Дополнительно дадим аналогичный расчет для уголка 70×7 (таблица 4).

Таблица 4 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{мин}/F$ для коробчатого сечения 70×7

№	Относительная площадь	z_0 , см	$Fz_0/F = z_0$, см	$Fz_0^2/F = z_0^2$, см ²	$I_{мин} (соб)/F$, см ²
1	1	1,99	1,99	3,96	4,563
2	1	5,551	5,551	30,81	4,563
Сумма	2	3,771	7,541	43,90	

$$I_{мин}/F (\text{короб}) = I_{мин}/(2F) = 7,733 \text{ см}^2, \quad (16)$$

тогда

$$I_{мин} = [I_{мин}/(2F)]2F = 145,69 \text{ см}^4; \quad (17)$$

$$r_{\text{мин}} = 2,781 \text{ см.} \quad (18)$$

$$\beta = r_{\text{мин}} / \sqrt{2F} = 0,6407. \quad (19)$$

Для того, чтобы определить как работает алгоритм определения требований к сечению пиллерсов и раскосов, принятый в Правилах РРР, зададимся длиной пиллерса, например, $\ell = 2$ м, пределом текучести материала $R_{eH} = 235$ МПа.

Будем использовать следующие выражения.

Значение эйлеровых напряжений определяется по выражению [1]

$$\sigma_3 = 200 \frac{I}{\ell^2 F},$$

где I – наименьший момент инерции площади поперечного сечения пиллерса, см⁴;

ℓ – расчетная длина пиллерса, м;

F – площадь поперечного сечения пиллерса, $F = F(\text{короб})$.

Площадь поперечного сечения пиллерса должна быть не менее, см²

$$F = 20 \frac{P}{\sigma_{\text{кр}}}, \quad (20)$$

где $\sigma_{\text{кр}}$ – критические напряжения, МПа;

P – действующее на пиллерс усилие, кН.

Площадь поперечного сечения пиллерса или раскоса должна быть не меньше площади, определяемой по (20) (следует заметить, что в последних двух редакциях Правил РРР здесь вместо квадратных сантиметров стоят квадратные метры),

$$F = 98,1 \frac{f m}{n R_{eH}},$$

где n – коэффициент, определяемый по [1] в зависимости от значения параметра N ,

$$N = \beta \frac{\sqrt{f m}}{\eta_T \ell}.$$

Наименьший момент инерции поперечного сечения пиллерса или раскоса должен быть не менее вычисляемого по формуле, см⁴,

$$I = \beta^2 \cdot F^2,$$

Для сжатых стальных стержней критические напряжения следует находить по формулам, МПа:

$$\begin{cases} \sigma_{\text{кр}} = \sigma_3 \text{ при } \sigma_3 \leq 0,6R_{eH}; \\ \sigma_{\text{кр}} = (1,12 - 0,312R_{eH}/\sigma_3)R_{eH} \\ \text{при } 0,6R_{eH} < \sigma_3 < 2,6R_{eH}; \\ \sigma_{\text{кр}} = R_{eH} \text{ при } \sigma_3 \geq 2,6R_{eH}, \end{cases}$$

Расчет проведем в табличной форме, таблицы 5-8, принимая для сравнения разные значения коэффициента β .

Таблица 5 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{\text{мин}}/F$ для коробчатого сечения 25×4

β	0,5174	0,61	0,72	0,8	0,518	0,5174*
σ_3 , МПа	49,8	49,8	49,8	49,8	49,8	–
σ_3/R_{eH}						0,212
$\sigma_{\text{кр}}$, МПа	49,8	49,8	49,8	49,8	49,8	–
P , кН	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	–
P , т	0,944	0,944	0,944	0,944	0,944	–
N	0,2514	0,2964	0,3498	0,3887	0,252	–
n	0,106	0,125	0,147	0,163	0,106	–
F , см ²	3,707	3,153	2,678	2,414	3,703	3,72*
I , см ⁴	3,679	3,700	3,718	3,728	3,679	3,705*

*-действительное значение

Из таблицы 5 видно, что расчетная площадь сечения при регистраемом значении $\beta = 0,61$ существенно ниже действительного значения (15,2%), а значение момента инерции близко

СУДОВОЖДЕНИЕ

действительному. Для действительного значения $\beta = 0,5174$ погрешность методики менее 1% как для площади сечения, так и для момента инерции сечения.

Таблица 6 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{\text{мин}}/F$ для коробчатого сечения 75×6

β	0,5174	0,61	0,72	0,8	0,712	0,716	0,7121*
σ_s , МПа	445,3	445,3	445,3	445,3	445,3	445,3	
σ_s/R_{eH}							1,89
$\sigma_{кр}$, МПа	224,5	224,5	224,5	224,5	224,5	224,5	
P , кН	197,1	197,1	197,1	197,1	197,1	197,1	
P , Т	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	
N	1,160	1,367	1,614	1,793	1,596	1,605	
n	0,4111	0,445	0,476	0,494	0,474	0,476	
F , см ²	20,4	18,86	17,61	16,97	17,68	17,61	17,56*
I , см ⁴	111,5	132,2	160,7	184,3	158,4	158,9	156,4*

*-действительное значение

Из таблицы 6 видно, что расчетная площадь сечения при регистравом значении $\beta = 0,61$ заметно выше действительного значения (7,3%), а значение для момента инерции меньше на 15,4%. Для действительного значения $\beta = 0,712$ погрешность методики около 1% как для площади сечения, так и для момента инерции сечения.

Таблица 7 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{\text{мин}}/F$ для коробчатого сечения 45×5

β	0,5174	0,61	0,72	0,8	0,6074	0,615	0,6074*
σ_s , МПа	158,3	158,3	158,3	158,3	158,3	158,3	
σ_s/R_{eH}							0,673
$\sigma_{кр}$, МПа	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	154,4	
P , кН	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2	
P , Т	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	
N	0,672	0,792	0,935	1,039	0,789	0,799	
n	0,273	0,313	0,356	0,384	0,311	0,315	
F , см ²	10,30	9,02	7,92	7,34	9,05	8,96	8,58*
I , см ⁴	28,43	30,25	32,55	34,49	30,20	30,33	27,2*

*-действительное значение

Из таблицы 7 видно, что расчетная площадь сечения при регистравом значении $\beta = 0,61$ выше действительного значения (5,1%), а значение для момента инерции выше на 11,3%. Для действительного значения $\beta = 0,6074$ погрешность методики +5,5% для площади сечения, и +11,2% для момента инерции сечения.

Таблица 8 – Вспомогательный расчет для определения отношения $I_{\text{мин}}/F$ для коробчатого сечения 70×7

β	0,5174	0,61	0,72	0,8	0,6407	0,645	0,6407*
σ_s , МПа	386,7	386,7	386,7	386,7	386,7	386,7	
σ_s/R_{eH}							1,645
$\sigma_{кр}$, МПа	218,6	218,6	218,6	218,6	218,6	218,6	
P , кН	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	206,0	
P , Т	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	
N	1,185	1,398	1,650	1,833	1,468	1,478	
n	0,417	0,450	0,470	0,516	0,458	0,460	
F , см ²	21,03	19,49	18,26	16,99	19,12	19,06	18,84*
I , см ⁴	118,4	141,4	172,9	184,8	150,0	151,2	145,7*

*-действительное значение

Из таблицы 8 видно, что расчетная площадь сечения при регистравом значении $\beta = 0,61$

выше действительного значения (3,4%), а значение для момента инерции ниже на 3,0%. Для действительного значения $\beta = 0,6407$ погрешность методики +1,5% для площади сечения, и +3,0% для момента инерции сечения.

Произведем выбор профиля для случая загрузки соответствующей действительному профилю 75×6, при регистравом значении $\beta = 0,61$. Имеем согласно методики РРР (таблица 6) расчетную площадь сечения 18,86 см² и расчетный момент инерции 132,2 см⁴.

По значению площади из сортамента выбираем профиль 70×7 со значением площади 9,42 см², а следовательно для коробчатого профиля будем иметь площадь сечения 18,84 см², что вполне приемлемо.

Расчет момента инерции (см. таблица 8) дает значение 145,7 см⁴, что также удовлетворяет заданию.

При этом имеем потерю момента инерции профиля по сравнению с действительным значением 6,84% (погрешность методики РРР в опасную сторону). Вероятно, возможны и большие ошибки.

Обратим внимание, что расчет по методике РРР при действительных значениях коэффициента β для коробчатого сечения из данного конкретного профиля дает и наиболее близкое значение среди прочих значений β , как для площади, так и для момента инерции сечения к их действительным значениям.

Поскольку наиболее строгой зависимостью из анализа сортамента является зависимость для радиуса инерции сечения, то, как говорилось в указанном выводе статьи, целесообразно им и воспользоваться.

Согласно формул (19) и (20) можно записать для радиуса инерции сечения коробчатого профиля выражение, см

$$r_{\text{мин}} = 0.04h, \quad (21)$$

где h – ширина полки профиля, мм.

Соответственно для коэффициента β из выражения имеем

$$\beta = \frac{r_{\text{мин}}}{\sqrt{F(\text{короб})}} = \frac{r_{\text{мин}}}{\sqrt{2F}} = \frac{0,04h}{\sqrt{2F}}. \quad (22)$$

Рассмотрим определение коэффициента β для оговоренных выше профилей в таблице 9.

Таблица 9 – Определение коэффициента β для выбранного ряда профилей

Параметр	Тип уголка			
	25×4	45×5	70×7	75×6
h , мм	25	45	70	75
$r_{\text{мин}}$, см	1,0	1,8	2,8	3,0
F , см ²	1,86	4,29	9,42	8,78
β	0,5185	0,6145	0,6451	0,7159
β^*	0,5174	0,6074	0,6407	0,7121

*-действительное значение

Из таблицы 9 видно, что определенные значения коэффициента β близки действительным.

Точность расчета с расчетными коэффициентами β можно проследить по таблицам 5-8. Из этих таблиц видна уже удовлетворительная точность расчета по методике РРР за исключением случая, где $\beta \approx 0,61$ (таблица 7).

Предлагается следующая процедура по определению нормативных параметров сечений пиллерсов и раскосов:

1 Определение площади сечения профиля согласно [1].

2 Определение для ряда выбранных профилей по нижеследующим выражениям коэффициентов β :

– для сечения из одного равнобокого уголка размером полки h и площадью сечения F ;

$$\beta = 0,0197 \frac{h}{\sqrt{F}};$$

– для сечения из крестообразного соединения равнобоких уголков

$$\beta = 0,0387 \frac{h}{\sqrt{2F}};$$

– для коробчатого профиля из равнобоких уголков

$$\beta = 0,04 \frac{h}{\sqrt{2F}};$$

– для сечения трубы

$$\beta = 0,0353 \frac{d_{cp}}{\sqrt{F}} \text{ или } \beta = 0,199 \sqrt{\frac{d_{cp}}{t}};$$

3 Повторение п.1 с исправленными коэффициентами β .

4 Сопоставление расчетных значений площади по п.3 и момента инерции по [1] и действительных характеристик выбранного коробчатого профиля. В случае, если погрешность значений для действительного сечения не превосходит (скажем, для примера) 3%, то данный профиль принимается. Иначе берется любой профиль на усмотрение проектировщика с большим значением площади и момента инерции.

Заключение. Предложенный анализ и предложения по корректировке методики расчета представлен для рассмотрения в центр разработки Правил РРР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.2. -М.: Новости, 2009. -406 с.
- 2 Бимбереков, П.А. Определение геометрических параметров сечений стержней, употребляемых в качестве пиллерсов и раскосов ферм судовых корпусов / П.А. Бимбереков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 194-201.
- 3 ГОСТ 8509-86. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. -М.: Изд-во стандартов, 1987. -10 с.
- 4 Прочность судов внутреннего плавания: справочник / В.В. Давыдов [и др.]. -М.: Реч. трансп., 1978. -466 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сечение пиллерса, радиус инерции сечения, подбор профиля
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

РАСЧЁТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ К ПОТОКУ ПЛАСТИНЫ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Краснов, А.В. Краснов

CALCULATION METHOD FOR DETERMINING THE RESISTANCE OF THE PLATE PERPENDICULAR TO THE FLOW
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 A.V. Krasnov, A.V. Krasnov

This paper presents a calculation method for determining the resistance of the plate, the normal of which is parallel to its motion direction. The calculation results are compared with experimental data obtained in the NSAWT towing tank.

Keywords: the force of the dynamic pressure, the force of static pressure, increase of the free surface level, lowering of the free surface level

Представлен расчётный метод определения сопротивления пластины, поверхность которой перпендикулярна направлению её движения. Результаты расчёта сравнивались с экспериментальными данными, полученными в опытовом бассейне НГАВТ.

Метод определения сопротивления пластины, поверхность которой перпендикулярна направлению её движения, основан, преимущественно, на фундаментальных законах гидродинамики и гидростатики, но в нём также существует допущение, основанное на сделанных во время экспериментов наблюдениях за поведением свободной поверхности вблизи буксируемого тела. В данном методе закон гидростатики является переходным средством для связи гидродинамических процессов в передней и задней частях пластины. Результаты расчёта сравнивались с экспериментальными данными, полученными в опытовом бассейне НГАВТ.

Так как для пластины, нормаль к поверхности которой параллельна направлению её движения, вклад в сопротивление со стороны трения о боковые поверхности практически равен нулю, то можно считать, что полное сопротивление такой пластины вызывается сила-

ми давления на её поверхности.

Сила давлений, действующая на переднюю часть пластины, вызывается динамическим напором жидкости. Сила давлений на передней части пластины может быть определена по формуле

$$F_n = \rho_1 B T, \quad (1)$$

где ρ_1 – давление в передней части пластины;

B – ширина пластины;

T – осадка пластины.

Давление в передней части пластины определяется по формуле

$$\rho_1 = \rho \frac{U^2}{2}, \quad (2)$$

где ρ – плотность воды;

U – скорость движения пластины.

Давление в передней части пластины вызывает подъём воды над свободной поверхностью. Этот подъём уровня воды может быть определён с учётом того, что изменение силы статического давления должно быть равно силе динамического давления. Этот принцип показан на рисунке 1, с помощью которого можно составить равенство для определения высоты подъёма уровня воды в передней части пластины.

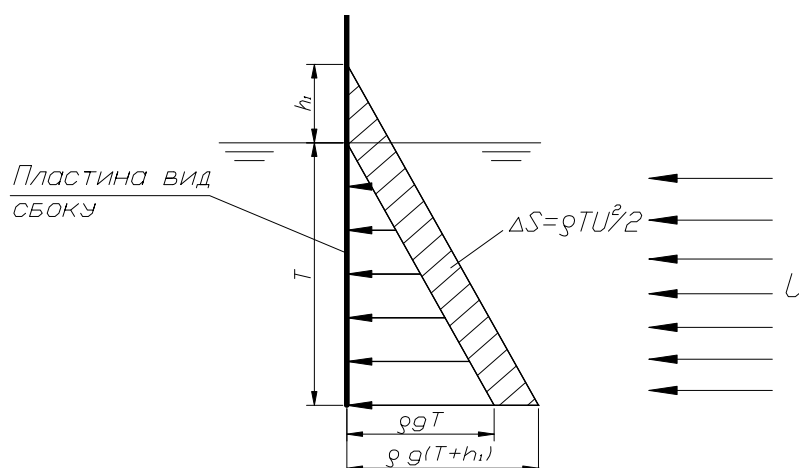


Рисунок 1 – Схема зависимости подъёма уровня свободной поверхности от динамического напора

Опираясь на рисунок 1 можно записать следующее уравнение

$$\rho_1 T = \rho g \frac{(T + h_1)^2 - T^2}{2}, \quad (3)$$

где h_1 – высота подъёма уровня свободной поверхности;

g – ускорение свободного падения.

Из уравнения (3) можно вывести формулу для определения высоты подъёма уровня свободной поверхности.

$$h_1 = \sqrt{\frac{2\rho_1 T}{\rho g} + T^2} - T. \quad (4)$$

Если учесть, что $\rho_1 = \rho \frac{U^2}{2}$ можно записать уравнение (4) в следующем виде

$$h_1 = \sqrt{\frac{TU^2}{g} + T^2} - T. \quad (5)$$

Высота подъёма свободной поверхности в передней части пластины, полученная по формуле (5), сравнивалась с экспериментальной. Результат сравнения представлен на рисунке 2. Из рисунка 2 видно, что расчётная высота подъёма уровня свободной поверхности соответствует средней по ширине высоте подъёма, определённой экспериментально.

Сила, возникающая от понижения уровня свободной поверхности в задней части пластины определяется по формуле

$$F_3 = \rho_2 VT, \quad (6)$$

где ρ_2 – понижение давления в задней части пластины.

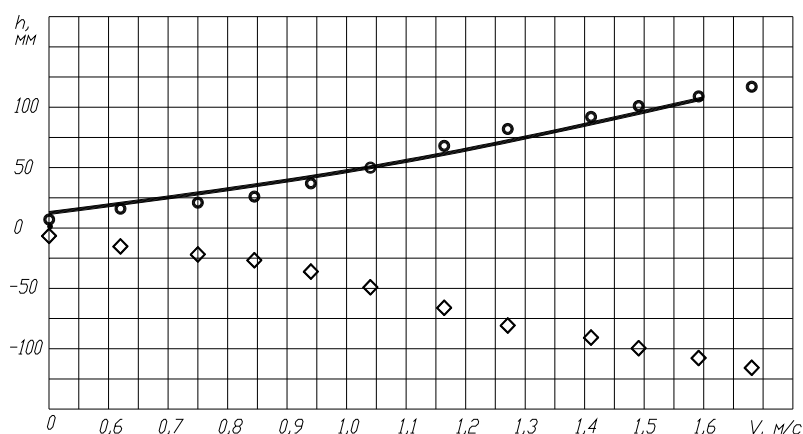


Рисунок 2 – График зависимости уровня свободной поверхности от скорости движения пластины (линия-расчётный подъём в передней части пластины; окружность-экспериментальный подъём в передней части пластины; ромб-экспериментальное опускание в задней части пластины)

Понижение давления в задней части пластины связано с понижением уровня свободной поверхности. Принцип определения понижения давления через понижение уровня свободной поверхности показан на рисунке 3.

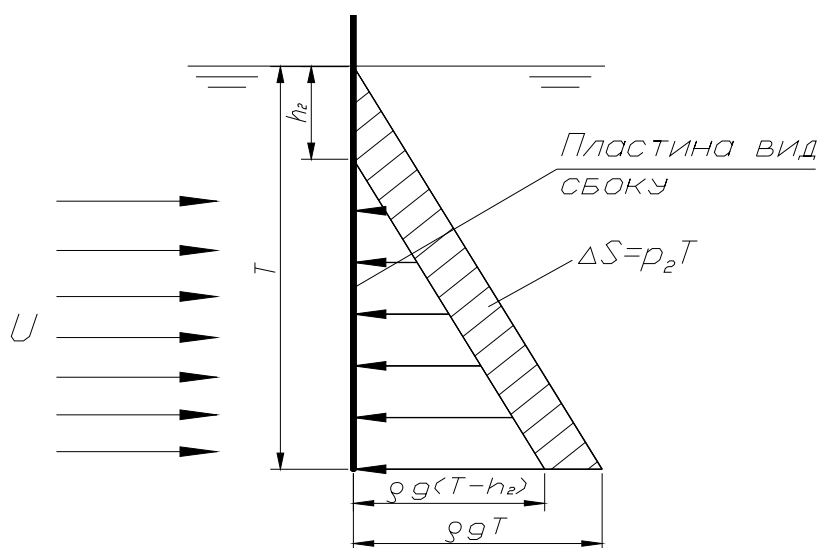


Рисунок 3 – Схема зависимости падения давления в задней части пластины от падения уровня свободной поверхности

Опираясь на рисунок 3 можно записать следующее уравнение

$$\rho_2 T = \rho g \frac{T^2 - (T - h_2)^2}{2}, \quad (7)$$

где h_2 – падение уровня свободной поверхности;

Из уравнения (7) можно получить формулу для определения падения давления в задней части пластины

$$\rho_2 = \rho g \frac{T^2 - (T - h_2)^2}{2T}. \quad (8)$$

Экспериментальные данные (см. рисунок 2) показывают, что понижение уровня свободной поверхности в задней части пластины равно повышению уровня в передней. Таким образом, уравнение (8) можно записать в следующем виде

$$\rho_2 = \rho g \frac{T^2 - (T - h_1)^2}{2T}. \quad (9)$$

Теперь можно записать формулу для определения величины полного сопротивления пластины

$$R = F_n + F_3 = 2\rho g B T \left(\sqrt{\frac{TU^2}{g} + T^2} - T \right). \quad (10)$$

Метод расчёта проверялся на пластине шириной 0,11 м при различных осадках. Результаты представлены на рисунках 4-6.

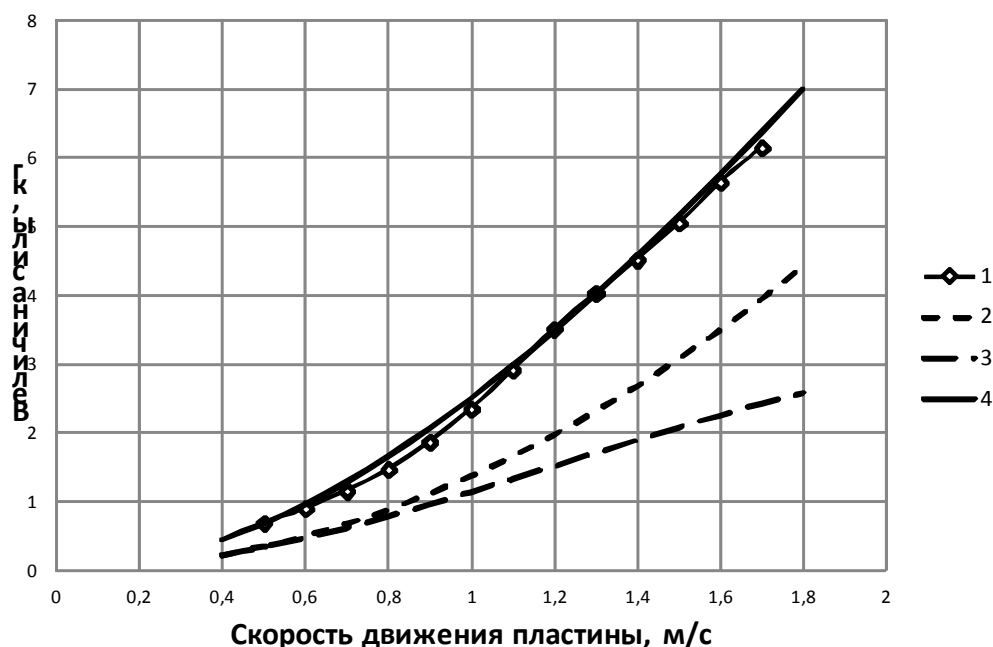


Рисунок 4 – График сопротивления пластины при осадке 0,25 м: 1-экспериментальная кривая сопротивления; 2-сила от давлений в передней части пластины; 3-сила от падения давления в задней части пластины; 4-расчётная кривая сопротивления пластины

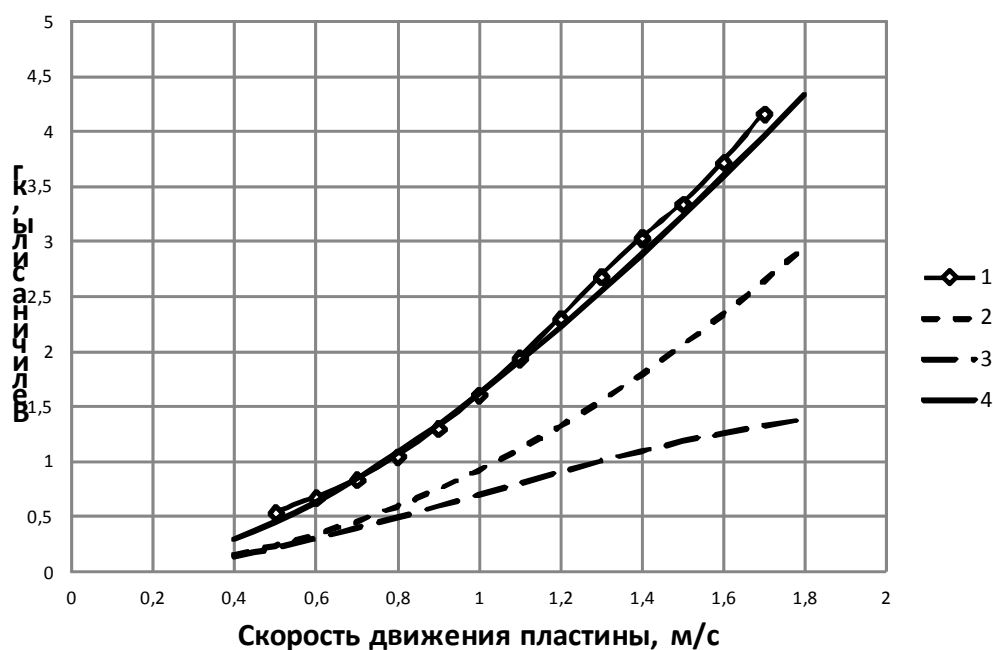


Рисунок 5 – График сопротивления пластины при осадке 0,167 м: 1-экспериментальная кривая сопротивления; 2-сила от давлений в передней части пластины; 3-сила от падения давления в задней части пластины; 4-расчётная кривая сопротивления пластины

Из рисунков 4-6 видно, что данный метод расчёта даёт хорошее согласие с эксперимен-

тальными данными.

Для выяснения природы понижения уровня свободной поверхности в задней части пластины был произведён эксперимент на основании выдвинутой гипотезы, в которой предполагается связь понижения уровня свободной поверхности с динамическим напором под нижней кромкой пластины. Эксперимент заключался в измерении скорости потока под нижней кромкой пластины. Измерения производились для пластины шириной 0,11 м при осадке 0,25 м в точке, расположенной в диаметральной плоскости и отстающей от нижней кромки на 0,01 м. Измерения скорости потока производились трубкой Пито-Прандтля.

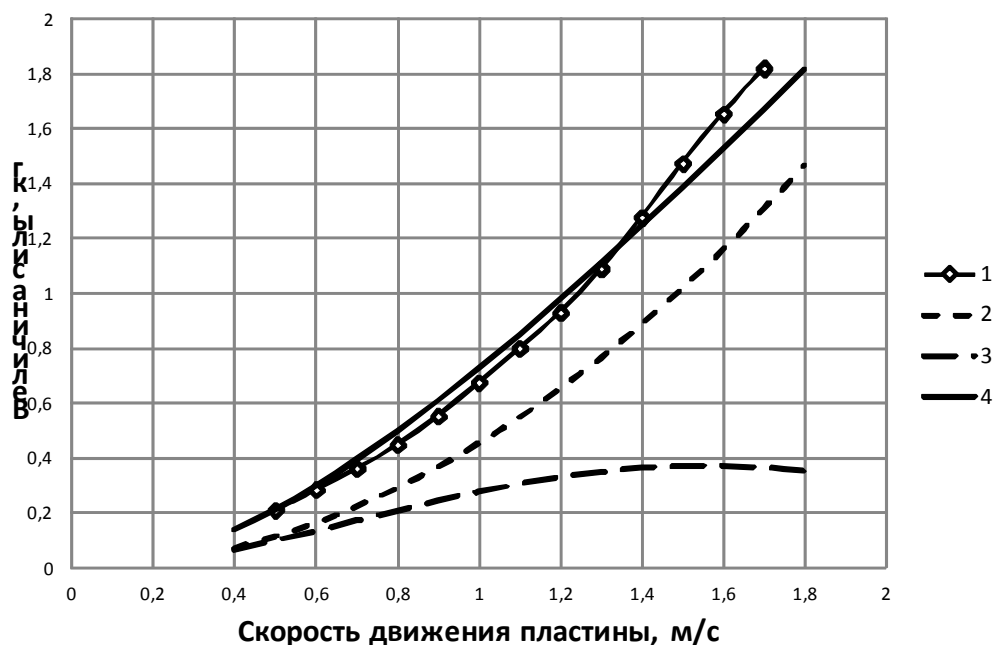


Рисунок 6 – График сопротивления пластины при осадке 0,083 м: 1-экспериментальная кривая сопротивления; 2-сила от давлений в передней части пластины; 3-сила от падения давления в задней части пластины; 4-расчётная кривая сопротивления пластины

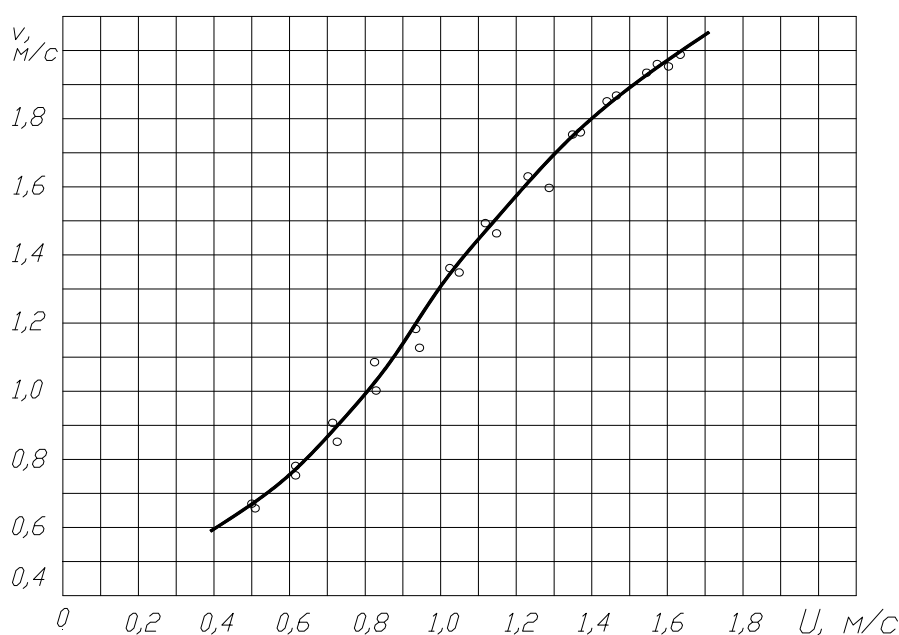


Рисунок 7 – Экспериментальная кривая зависимости скорости потока под нижней кромкой пластины от скорости её движения

На основании полученных данных был построен график сопротивления показанный на рисунке 8.

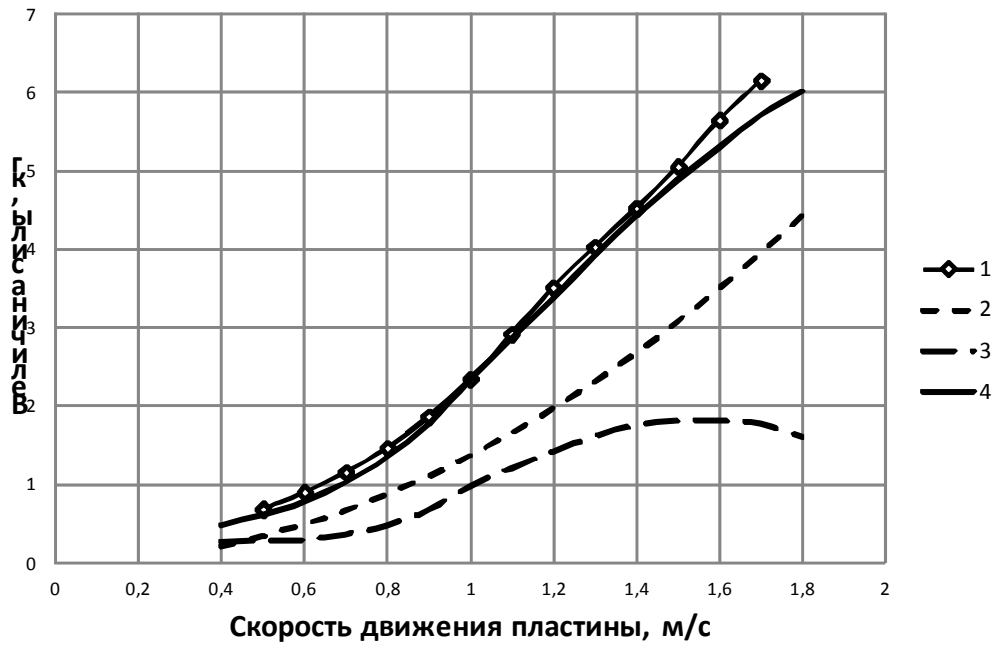


Рисунок 8 – График сопротивления пластины шириной 0,11 м при осадке 0,25 м: 1- экспериментальная кривая сопротивления; 2-сила от давлений в передней части пластины; 3-сила от падения давления в задней части пластины; 4-расчётная кривая сопротивления пластины

Из рисунка 8 видно, что расчётная кривая сопротивления, полученная с учётом скорректированного опускания уровня свободной поверхности в задней части пластины, так же близка к экспериментальной кривой. Из этого можно сделать вывод, что опускание уровня свободной поверхности, а, следовательно, понижение давления, в задней части пластины связано с динамическим напором под её нижней кромкой и практически им определяется. Характер изменения силы давления в задней части пластины, показанный на рисунке 8 под номером 3 соответствует характеру изменения давления (рисунок 9).

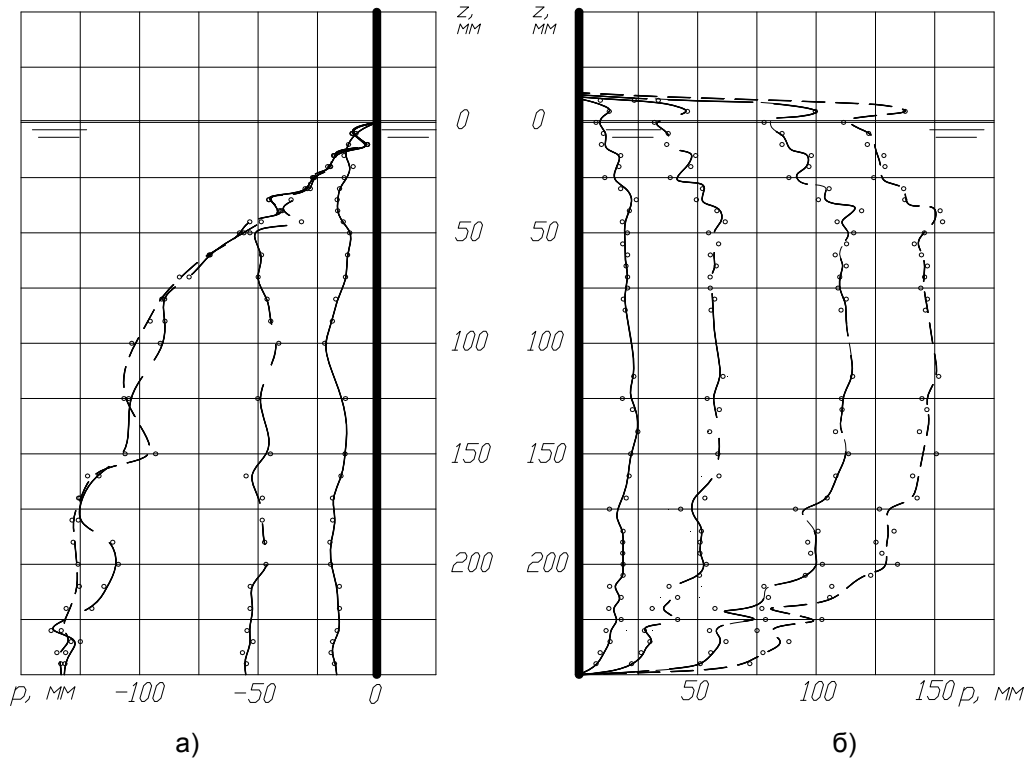


Рисунок 9 – Этюры гидродинамического давления для разных скоростей движения (0,6; 1,0; 1,4 и 1,6 м/с): а)-в диаметральной плоскости задней части пластины; б)-в диаметральной плоскости передней части пластины

Из рисунка 9 видно, что в диапазоне скоростей движения пластины от 1,4 м/с до 1,6 м/с давление в задней её части почти не меняется. То же происходит и с силой от падения давления в задней части пластины, показанной на рисунке 8.

Основываясь на экспериментальных данных можно сделать вывод, что предложенный метод расчёта сопротивления пластины, нормаль к поверхности которой параллельна направлению её движения, физичен и даёт хорошие результаты для различных отношений ширины к осадке.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сила динамического давления, сила статического давления, повышение уровня свободной поверхности, понижение уровня свободной поверхности
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Краснов Алексей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Краснов Александр Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ЗАМЕРОВ СКОРОСТИ, ДАВЛЕНИЯ И СИЛЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВИХРЕВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В БАССЕЙНЕ НГАВТ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Краснов, А.В. Краснов

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF MEASUREMENTS OF VELOCITY, PRESSURE AND FORCE IN THE STUDY OF VORTEX RESISTANCE IN NSAWT TOWING TANK
«Novosibirsk state academy of water transport»
A.V. Krasnov, A.V. Krasnov

The reliability of the data has great importance in experimental work, because without confidence in the experimental data it is impossible to develop a valid method for calculating the vortex resistance. This article focuses on assessing the accuracy of the devices and methods of measurement of speed, force and pressure on the body of the moving model developed by the authors.

Keywords: the reliability of measurements, measurement accuracy, expectation, mean square deviation

В экспериментальной работе большое значение имеет достоверность полученных данных, так как без уверенности в экспериментальных данных невозможно разработать корректный метод расчёта вихревого сопротивления. Настоящая статья посвящена оценке точности разработанных авторами приборов и методов измерения скорости, сил и давлений на корпусе движущейся модели.

В опытовом бассейне НГАВТ в настоящее время производится изучение вихревого сопротивления. Данная работа мотивирована тем, что пока ещё не существует расчётных методов определения вихревой составляющей сопротивления из-за того, что процессы, вызывающие вихревое сопротивление, мало изучены. Для изучения их природы и разработки метода расчёта вихревого сопротивления выполнен ряд специальных экспериментальных исследований.

Под вихревым понимается сопротивление, вызванное дополнительными нормальными давлениями на корпусе судна, связанными с вихреобразованием. Исходя из определения вихревого сопротивления, предметом экспериментального изучения стали такие дополнительные давления.

В экспериментальной работе большое значение имеет достоверность полученных данных, так как без уверенности в экспериментальных данных невозможно разработать корректный метод расчёта вихревого сопротивления. Настоящая статья посвящена оценке точности разработанных авторами приборов и методов измерения скорости, сил и давлений на корпусе движущейся модели.

Измерение скорости движения буксировочной тележки. В связи с тем, что все физические величины, связанные с сопротивлением воды движению судна, являются функциями скорости, то, естественно, существует необходимость в точном её определении.

Так как модель жёстко закрепляется на тележке, то в эксперименте определялась скорость движения буксировочной тележки. Это выполнялось путём измерения времени прохождения тележкой измерительного участка. Для этого на стенке бассейна был выбран измерительный участок длиной 3 м. Данный участок был обозначен двумя вертикальными линиями 4 на рисунке 1, отмечающими его начало и конец. На буксировочной тележке был установлен неподвижный ориентир 2, и там же была установлена видеокамера 1, расположенная как показано на рисунке 1. При движении тележки 3 производилась видеосъёмка, ко-

торая фиксировала перемещение неподвижного ориентира на тележке относительно стенки бассейна. Дальнейшие операции производились уже с видеозаписью.

Измерение времени прохождения измерительного участка производилось путём подсчёта количества кадров определённой длительности. Съёмка производилась со скоростью 30 кадров/с. Исходя из этого, точность измерения времени прохождения измерительного участка определялась только инструментальной погрешностью и составляла $\pm 0,03$ с. Точность определения совпадения меток на стенке бассейна с неподвижным ориентиром на буксировочной тележке составляла $\pm 0,02$ м. Таким образом, погрешность определения скорости тележки в диапазоне 0,5-2,0 м/с составляла 1,8-3,4%.

Измерение величины сопротивления. Измерение силы сопротивления производилось системой динамометрии, описанной в статье [1]. Масса тарировочных грузов определялась на электронных весах с точностью до 1 г. Цена деления динамометра составляет 5 г. Таким образом, точность системы динамометрии составляет 6 г, а погрешность измерения силы сопротивления, в диапазоне 0,5-6,0 кг, составляет 0,1-1,2%.

Определение силы сопротивления производилось путём осреднения её на всём мерном участке. Показание динамометра фиксировалось в реальном времени видеокамерой, параллельно со съёмкой перемещения стенки бассейна относительно неподвижного ориентира на буксировочной тележке. Математическое ожидание силы сопротивления определялось по формуле

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i, \quad (1)$$

где N – число кадров;

R_i – показание динамометра на i -ом кадре.

Среднее квадратичное отклонение величины σ сопротивления определялось по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (R_i - R)^2}. \quad (2)$$

Колебание показаний динамометра находилось в пределах ± 20 г. При измерении сопротивления величина сопротивления составляла 15 г.

Достоверность величины сопротивления можно оценить вероятностью ошибки, которую можно подсчитать по следующей формуле

$$Q = 1 - \prod_{i=1}^M P_i, \quad (3)$$

где P_i – вероятность правильного измерения i -го параметра;

M – число измеряемых параметров.

Вероятность правильного измерения i -го параметра, с учётом отсутствия промахов, можно определить по формуле

$$P_i = 1 - Q_i, \quad (4)$$

где Q_i – вероятность ошибки i -го параметра;

$$Q_i = \Delta / A_i, \quad (5)$$

Δ – точность измерения прибора;

A_i – значение измеряемой величины, показываемое прибором.

Применительно к графику, показанному на рисунке 2, максимальная вероятность ошибки составляет 3,1%, а минимальная 2,4%.

Измерение давления. Измерение величины давления на смоченной поверхности производилось с помощью устройства описанного в статье [1]. Точность данного устройства опре-

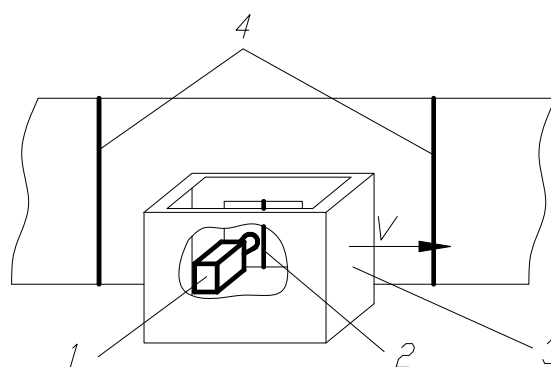


Рисунок 1 – Схема измерения скорости движения буксировочной тележки; 1-видеокамера; 2-неподвижный ориентир; 3-буксировочная тележка; 4-вертикальные линии, ограничивающие измерительный участок

деляется ценой деления индикатора сигнала (милливольтметра), которая составляла 2,5 мм. водн. ст., и точностью определения, при тарировке, уровня заглубления в воду выходного отверстия капиллярной трубки устройства, которое составляло 1 мм. Таким образом точность средства измерения величины давления составляет 3,5 мм водяного столба.

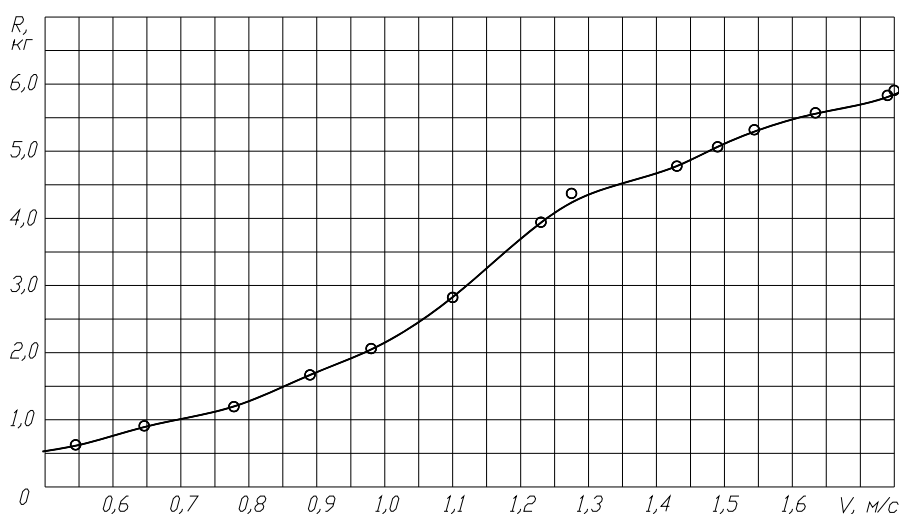


Рисунок 2 – Зависимость сопротивления пластины, нормаль к поверхности которой параллельна направлению её движения от скорости движения буксировочной тележки

Определение величины давления на смоченной поверхности производилось путём осреднения её на всём мерном участке. Показание прибора фиксировалось в реальном времени видеокамерой параллельно со съёмкой перемещения стенки бассейна относительно неподвижного ориентира на буксировочной тележке. Математическое ожидание величины давления определялось по формуле

$$p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i, \quad (6)$$

где p_i – показание прибора на i -ом кадре.

Среднее квадратичное отклонение величины давления определялось по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - p)^2}. \quad (7)$$

Колебание показаний прибора находилось в пределах ± 10 мм. водн. ст. При измерении величины давления величина σ составляла 5 мм водяного столба.

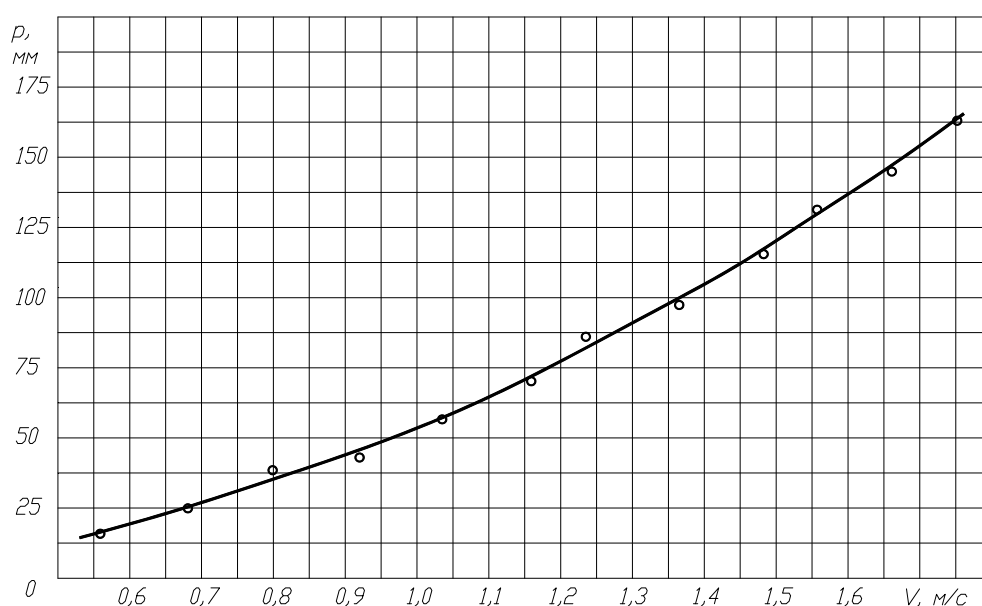


Рисунок 3 – Зависимость величины давления в точке на смоченной поверхности от скорости

движения буксировочной тележки

По результатам измерения давления были построены графики зависимости величины давления в точке на смоченной поверхности от скорости движения буксировочной тележки. Пример такого графика показан на рисунке 3. Для данного графика среднее квадратичное отклонение равно 2,3 мм. водн. ст. Для остальных графиков зависимости давления от скорости движения буксировочной тележки средние квадратичные отклонения имеют приблизительно такие же значения. С помощью полученных графиков давления были построены эпюры распределения давления на смоченной поверхности пластины, нормаль к поверхности которой параллельна направлению её движения.

Достоверность полученных данных распределения давления оценивается вероятностью ошибки, которую можно подсчитать по формуле (3). Применительно к графику, показанному на рисунке 3, вероятность ошибки находится в диапазоне 5-18%.

Из полученных результатов видно, что измерение скорости выполняется с точностью от 1,8-3,4%. Сопротивление измеряется с точностью в диапазоне от 2,4-3,1%. Оказалось, что измерение больших давлений получается достаточно точно, но когда давления малы, то измерения имеют невысокую относительную точность. Основная цель исследований состоит в изучении распределения давлений по корпусу, поэтому дальнейшая работа будет направлена на повышение точности измерительного прибора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Краснов, А.В. Вихревое сопротивление перпендикулярной к потоку пластины / А.В. Краснов // Морские интеллектуальные технологии, -2011. -№2 (спец. выпуск), -С. 16-18.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *надежность измерений, точность измерений, ожидание, среднеквадратическое отклонение*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Краснов Алексей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Краснов Александр Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

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

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПАЛУБНОГО ПАКЕТИРОВАННОГО ГРУЗА

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

Н.М. Аносов, А.Г. Конаков

STUDY INTO ROLL STIFFNESS OF DECK PALLETIZED CARGO
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»
N.M. Anosov, A.G. Konakov

This paper reviews a study into roll stiffness of deck palletized cargo and an option of developing a system of securing the packaged cargo to provide a deck officer with resources to ensure safe navigation when carrying timber cargoes.

Keywords: density of cargo, inertia, pallet size, stowage, wetting, icing, stencils, cargo stability

Исследована поперечная устойчивость палубного пакетированного груза и возможность разработки системы крепления пакетированного груза позволяющая судоводителю обеспечить безопасности мореплавания, при перевозке лесных грузов.

Несмотря на рост водоизмещения, и технического оснащения морских судов, штормовые условия остаются одной из главных причин аварий и гибели судов. Актуальность данной статьи определяется тем, что доля работы морского судна в условиях ветра и волнения составляет в среднем до 70% его ходового времени. Поэтому размещение и крепление палубного груза требует особого внимания, как в отношении способа крепления, так и в отношении оборудования, используемого для его крепления.

Существующие методы перевозки пакетированных лесных грузов (в том числе регламентированные требованиями ИМО [1]) не обеспечивают плотной укладки пакетов друг к другу, допуская между ними некоторый зазор (рисунок 1), обычно 0,03-0,05 м, а в случаях особенно небрежной укладки может достигать 0,5 м.

При перевозке палубного пакетированного груза в отрицательных температурах и штормовых условиях груз будет подвергаться намоканию и обледенению, вследствие чего

значительно уменьшится сила трения. В штормовых условиях в результате противодействия силы ветра F_v , силам инерции судна $F_{ин.судна}$ и силам масс воды $F_{ин.м.воды}$, возникает кренящий момент (рисунок 2), под действием которого судно начинает крениться.



Рисунок 1 – Примеры неплотной укладки пакетов на палубе

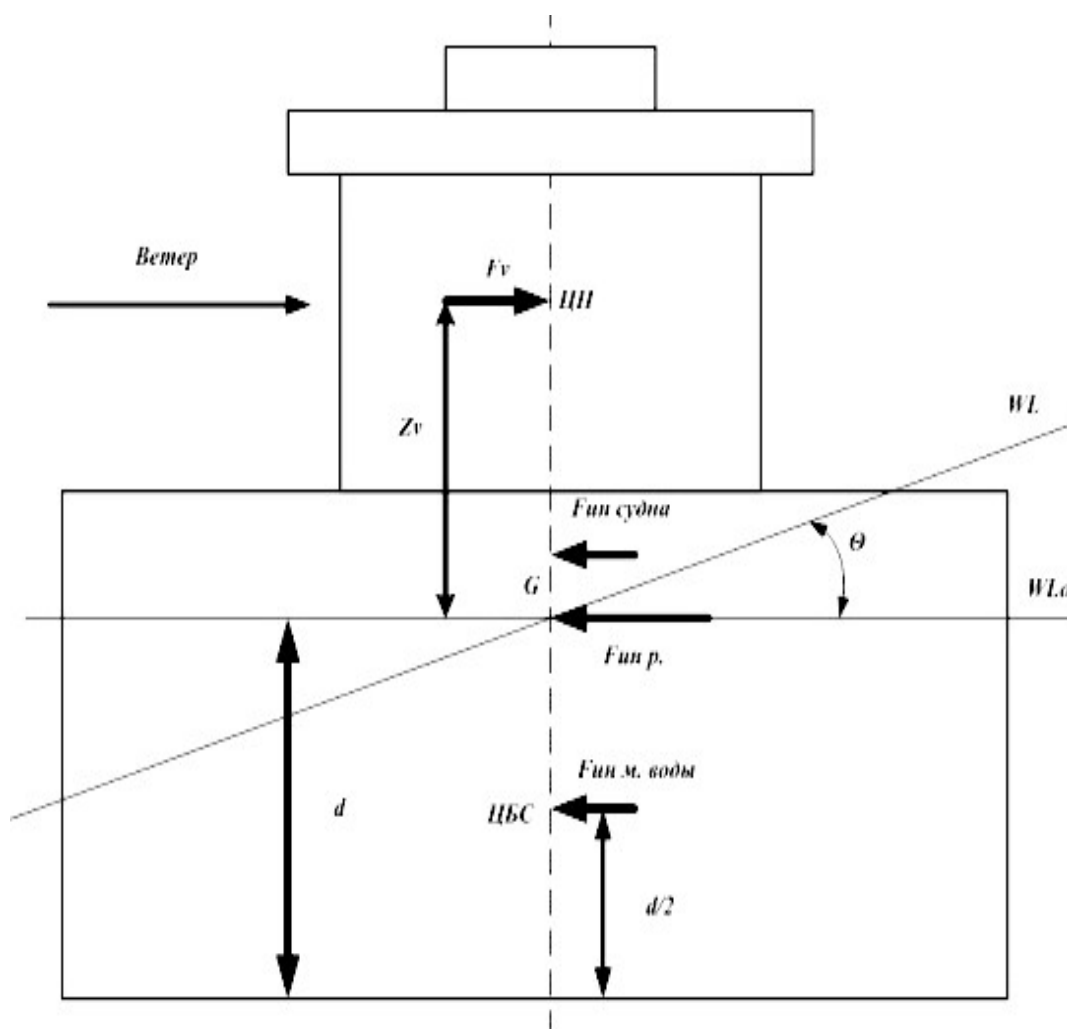


Рисунок 2 – Схема возникновения кренящего момента, под действием ветра

Кренящий момент определяется по формуле

$$M_{кр} = 0,001\rho A_v Z_v, \text{ кН}\cdot\text{м},$$

где Z_v – плечо парусности (расстояние от плоскости действующей ватерлинии до центра парусности);

A_v – площадь парусности судна;

p – условное давление ветра [2].

Вследствие крена судна, если горизонтальная сила превысит силу трения, $F_f = F_z f_n$, пакеты с грузом, при неплотной укладке, начнут сдвигаться в сторону пониженного борта (рисунок 3).

Следовательно, условием несмещаемости груза будет

$$\frac{F_y}{F_z} = \frac{a_y}{a_z} \leq f_n, \quad (1)$$

где a_y, a_z – касательное и нормальное ускорение;

F_y – горизонтальная сила;

F_z – вертикальная сила;

f_n – сила трения пакета.

Опрокидывание пакетов произойдёт, если груз имеет упор в точке А (рисунок 3), то есть опрокидывающий момент

$$M_{опр} = F_y h_p,$$

где h_p – возвышение центра тяжести пакета, станет равным или превысит удерживающий момент

$$M_{уд} = F_z \frac{d}{2}.$$

Также может произойти опрокидывание груза и при отсутствии упора, если опрокидывающий момент превысит удерживающий, а сила F_y при этом будет меньше силы трения F_f . Тогда условием не опрокидывания груза будет

$$\frac{F_y}{F_z} = \frac{a_y}{a_z} \leq \frac{d}{2h_{сп}}. \quad (2)$$

Соотношение между касательными и нормальными ускорениями является критерием неподвижности грузов, а нормативами неподвижности будут выражения (1) и (2).

Для решения задачи устойчивости палубного каравана в линейной постановке, когда влиянием не линейности можно пренебречь, а возмущающие воздействия – детерминированные функции времени, можно применить разработанные методы линейной теории колебаний. В этом случае массы считаются неизменными и сосредоточенными, а параметры жёсткости и демпфирования линейными. Такой подход позволяет получать результаты в удобной для анализа форме.

Для рассмотрения процессов смещения палубного пакетированного груза, закрепленного методом ячеечного крепления с использованием способа формирования укрупнённых грузовых единиц (УГЕ), примем следующие допущения: все пакеты в ярусе соединяются между собой крепежной лентой (рисунок 2 и 4) и рассматриваются как единый блок, тогда караван палубного груза будет состоять из нескольких блоков. Сам процесс подвижки пакетов состоит из двух фаз, первая фаза начинается с момента накренения судна ($t = t_0$) и заканчивается моментом максимального накренения судна. Момент максимального накренения характеризуется наибольшим значением поперечной инерционной силы. Конец первой фазы является началом второй, к концу которой ускорение становится равным нулю [3].

Для решения задачи примем следующие обозначения:

m_1 – масса пакета;

m_2 – масса пакетов в ярусе;

$m_{сп}$ – масса каравана;

x – смещение груза под действием инерционных сил;

c – жесткость конструкции крепления груза;

f – коэффициент трения при скольжении упакованных в пленку пакетов пиломатериалов по палубе (рисунок 4).

При воздействии на судно волновой ударной нагрузки груз тоже будет испытывать колебания, даже при упругом креплении. Вследствие накренения судна пакеты пиломатериалов начнут сдвигаться в сторону пониженного борта. Крепежные ленты, соединяющие паке-

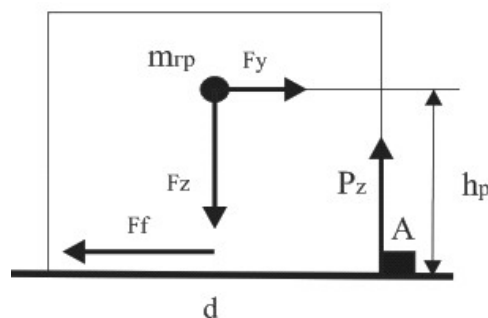
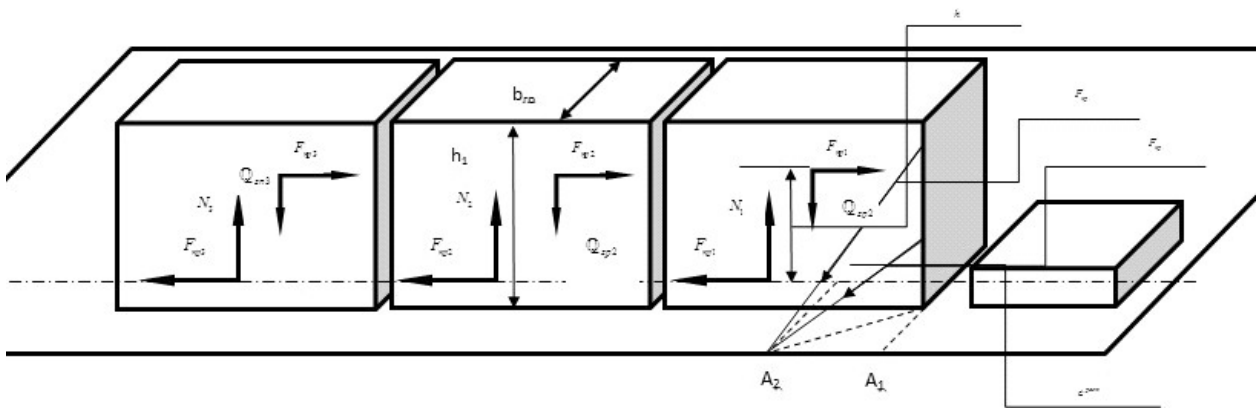


Рисунок 3 – Силы действующие на груз

ты между собой натягиваются, и груз, сместившись на некоторое расстояние, останавливается, а затем начинает перемещаться в обратном направлении под действием силы реакции крепежных лент. Колебание пакетов будут носить затухающий характер вследствие работы силы трения и упругой силы крепления.

При высоко расположенном центре тяжести палубного груза и значительной силе трения возможно опрокидывание груза, что может привести к разрушению палубного каравана и повреждению конструкций корпуса судна. Поэтому так же необходимо определить влияние факторов на устойчивость палубных пакетированных грузов от опрокидывания.

Вращательное движение отдельного пакета пиломатериала в вертикальной плоскости происходит относительно кромки упора у его основания (рядом стоящий пакет выше движущего) для неблагоприятных условий эксплуатации, когда пиковое значение продольной силы имеет место быть одновременно с максимальным уменьшением веса из-за действия вертикальной силы. Расчетная схема приведена на рисунке 5.



Окончание первой фазы процесса соответствует времени достижения соотношения

$$F_{\text{пр}} H_{\text{ЦТ}} = Q_{\text{зр}} \frac{l_{\text{зр}}}{2}, \quad (3)$$

- где $Q_{\text{зр}}$ – сила тяжести груза, Н
- $F_{\text{пр}}$ – продольная инерционная сила, действующая на груз, Н;
- $H_{\text{ЦТ}}$ – высота положения центра массы груза, м;
- $l_{\text{зр}}$ – длина опорной поверхности груза, м.

Для решения процессов второй фазы и составления дифференциальных уравнений движения системы используем уравнения Лагранжа 2-го рода:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} = Q_i, \quad (4)$$

- где T, Π – кинетическая и потенциальная энергия системы;
- Φ – диссипативная функция рассеяния;
- Q_i – обобщенная сила.

При выводе дифференциальных уравнений движения принимаются следующие допущения: пакеты и судно являются абсолютно жесткими телами; центр масс перемещается линейно по горизонтали; зазоры между пакетами отсутствуют. Приведенная жесткость для крепления пакетов принята в соответствии с [4]

$$C_{\text{ан}} = \begin{cases} C_1 [1 + f \text{sign}(\dot{x}, x)] & \text{при } \text{abs}(x) \leq \Delta; \\ C_2 (x - \Delta) + \frac{C_1 \Delta}{(x - \Delta)} & \text{при } \text{abs}(x) > \Delta, \end{cases} \quad (5)$$

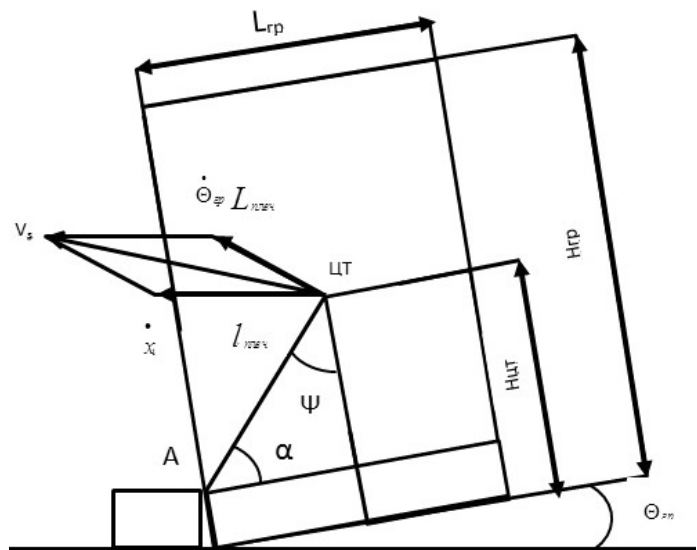


Рисунок 5 – Опрокидывание груза

где x – деформация межпакетной связи;
 f – коэффициент относительного трения;
 $C_1, C_{\text{св}}$ – жесткость межпакетной связи;
 Δ – суммарный ход пакетов в ярусе.

Кинетическая энергия системы в первой фазе

$$T = \frac{(m_1 + m_{\text{эп}})x_1^2}{2} + \frac{m_2 x_2^2}{2}, \quad (6)$$

где x_1, x_2 – перемещения пакетов пиломатериалов и всего яруса.

Потенциальная энергия системы в первой фазе определяется по формуле

$$П = \frac{C_{\text{ан}}(x_1 - x_2)^2}{2} + \frac{C_{\text{ан}}x_2^2}{2}. \quad (7)$$

После подстановки (4) и (5) в (6) и преобразований получена система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = A_1(x_2 - x_1); \\ \ddot{x}_2 = A_{21}(x_1 - x_2) - A_{22}x_2. \end{cases} \quad (8)$$

После преобразования окончательно вид которой:

$$A_1 = \begin{cases} \frac{C_1}{m_1 + m_{\text{эп}}} [1 + \varphi \operatorname{sign}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)] & \text{при } (x_1 - x_2) \leq \Delta; \\ \frac{C_{\text{св}}}{m_1 + m_{\text{эп}}}(x_1 - x_2 - \Delta) + \frac{C_1 \Delta}{m_1 + m_{\text{эп}}(x_1 - x_2 - \Delta)} & \text{при } (x_1 - x_2) > \Delta; \end{cases}$$

$$A_{21} = \begin{cases} \frac{C_1}{m_2} [1 + \varphi \operatorname{sign}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)] & \text{при } (x_1 - x_2) \leq \Delta; \\ \frac{C_{\text{св}}}{m_2}(x_1 - x_2 - \Delta) + \frac{C_1 \Delta}{m_1 + m_{\text{эп}}(x_1 - x_2 - \Delta)} & \text{при } (x_1 - x_2) > \Delta; \end{cases}$$

$$A_{22} = \begin{cases} \frac{C_1}{m_2} [1 + \varphi \operatorname{sign}(\dot{x}_2)] & \text{при } x_2 \leq \Delta; \\ \frac{C_{\text{св}}}{m_2}(x_2 - \Delta) + \frac{C_1 \Delta}{m_2(x_1 - \Delta)} & \text{при } x_2 > \Delta. \end{cases}$$

Окончание первой фазы при

$$\ddot{x} = g \frac{L_{\text{эп}}}{2H_{\text{цт}}}. \quad (9)$$

Кинетическая энергия системы во второй фазе с учетом двух видов движения груза: поступательного и вращательного относительно ребра опрокидывания (рисунок 5) будет

$$T = \frac{1}{2}(m_1 \dot{x}_1^2 + m_2 \dot{x}_2^2 + m_{\text{эп}} V_{\text{с}}^2 + J_{\text{с}} \dot{\theta}_{\text{эп}}^2), \quad (10)$$

где $J_{\text{с}}$ – момент инерции груза относительно его центра массы;

$\theta_{\text{эп}}$ – угол наклона (поворота) груза относительно палубы;

$V_{\text{с}}$ – абсолютная линейная скорость движения центра массы груза, представляющая собой геометрическую сумму поступательной скорости пакета и вращательной скорости центра массы груза относительно точки А (рисунок 5)

$$V_{\text{с}}^2 = \dot{x}_1^2 + (L_{\text{плеч}} \dot{\theta}_{\text{эп}})^2 + 2\dot{x}_1 L_{\text{плеч}} \dot{\theta}_{\text{эп}} \cos(\Psi - \theta_{\text{эп}}). \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10), после преобразований будет иметь вид

$$T = \frac{1}{2} [m_1 \dot{x}_1^2 + m_2 \dot{x}_1^2 + m_{\text{эп}} \dot{x}_1^2 + m_{\text{эп}} L_{\text{плеч}}^2 \dot{\theta}_{\text{эп}}^2 + m_{\text{эп}} \dot{x}_1 L_{\text{плеч}} \dot{\theta}_{\text{эп}} \cos(\Psi - \theta_{\text{эп}}) + J_{\text{с}} \dot{\theta}_{\text{эп}}^2]. \quad (13)$$

Потенциальную энергию системы во второй фазе с учетом подъема центра массы груза относительно палубы при наклоне груза можно записать в виде

$$П = \frac{C_{\text{ан}}(x_1 - x_2)^2}{2} + \frac{C_{\text{ан}}x_2^2}{2} + L_{\text{плеч}} m_{\text{эп}} g [\sin(\alpha + \theta_{\text{эп}}) - \sin \alpha]. \quad (14)$$

Подставляя (13) и (14) в (4), после дифференцирования и преобразований система будет следующей:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = \frac{A_1(x_2 - x_1) - A_3\dot{\theta}_{ep}^2 \cos(\alpha + \theta_{ep}) + A_3A_4(\dot{x}_1\dot{\theta}_{ep} + 2g)\sin(\alpha + \theta_{ep})\cos(\alpha + \theta_{ep})}{1 - A_3A_4\sin^2(\alpha + \theta_{ep})}, \\ \ddot{x}_2 = A_{21}(x_1 - x_2) - A_{22}x_2; \\ \ddot{\theta}_{ep} = -A_4(\dot{x}_1\dot{\theta}_{ep} + 2g)\cos(\alpha + \theta_{ep}) - A_4\sin(\alpha + \theta_{ep})\ddot{x}_1. \end{cases} \quad (15)$$

Окончательное решение системы

$$A_3 = \frac{m_{ep} L_{плеч}}{2(m_1 + m_{ep})}; \quad A_4 = \frac{m_{ep} L_{плеч}}{2(m_{ep} L_{ep}^2 + J_S)}; \quad L_{плеч} = \left(\frac{H_{ep}}{2} - h_y\right) \sin \alpha; \quad \alpha = \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{1+K^2}}\right); \quad K = \frac{L_{ep}}{H_{ep} - 2h_y}. \quad (16)$$

В результате исследования поперечной устойчивости палубного пакетированного груза, выведено понятие геометрического аналога устойчивости груза K в виде коэффициента представляющего соотношение длины и высоты груза и его упора (выступающие пакеты предыдущего яруса)

$$K = L_{ep} / (H_{ep} - 2h_y),$$

и выявлена зависимость опрокидывания груза между K и фактическими максимальными углами наклона груза при крене судна.

Наибольшее влияние на угол наклона груза при накренивании судна оказывают период качки и геометрический аналог устойчивости K , а также масса пакетов в ярусе. Менее выражено влияние размеров пакетов H_{ep} и L_{ep} . При формировании УГЕ увеличивается L_{ep} , а следовательно, при увеличении момента инерции груза, угол наклона яруса при крене судна будет минимальным и груз не опрокинется.

Таким образом, можно сделать вывод, что сформированная из пакетов укрупненная грузовая единица будет устойчива от опрокидывания груза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кодекс безопасной практики для судов, перевозящих лесные палубные грузы. Резолюция А. 715 (17) // Сборник кодексов ИМО. -СПб., 2006. -С. 108-178.
- 2 Остойчивость // Правила классификации и постройки морских судов. -СПб., 2010. -Т.1, Ч.4. -С. 299-324.
- 3 Коровяковский, Е.К. Методические основы размещения и крепления грузов с плоской опорой, перевозимых на подвижном составе железных дорог. Управление процессами перевозок: дис. ... канд. техн. наук: 05.22. 08: защищена 2003 : утв. 05.05.03 / Коровяковский Евгений Константинович. -СПб., 2003. -1193 с.
- 4 Правила безопасности морской перевозки генеральных грузов. Общие требования и положения: 4-М. В 2 т. Т.2: РД 31.11.21.16-2003: утв. М-вом трансп. России 21.04.2003: введ. в действие с 24.11.2003. -СПб.: ЦНИИМФ, 1996. -С. 6.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *плотность груза, инерция, размер пакета, укладка, намокание, оледенение, стензеля, устойчивость груза*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Аносов Николай Михайлович, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»
Конаков Алексей Геннадьевич, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»*

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕМОНТА РАМНОГО СУДОВОГО НАБОРА БАРЖИ-ПЛОЩАДКИ ПРОЕКТА №Р-56 УСТАНОВКОЙ НА ЕГО СТЕНКИ НАКЛАДНЫХ ЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Бимбереков, А.В. Фомин, Н.А. Сашчиков

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF REPAIR OF THE FRAME SHIP SET OF THE BARGE-PLATFORM OF THE PROJECT No.P-56 INSTALLATION ON ITS WALLS OF OVERHEAD SHEET ELEMENTS
«Novosibirsk state academy of water transport»
P.A. Bimberekov, A.V. Fomin, N.A. Sashchikov

Investigated the possibility of reinforcement of the walls beams frame a set leaf overlaid elements to compensate for the insufficient of thickness of the conditions of ensure sustainability the wall on the local impact of concentrated.

Keywords: sustainability the wall, reinforcement, leaf overlaid elements

Исследована возможность подкрепления стенок балок рамного набора листовыми накладными элементами для компенсации недостаточной их толщины из условия обеспечения устойчивости стенки на местные сосредоточенные воздействия.

В действующих Правилах Российского Речного Регистра (РРР) [1] по сравнению с предыдущими Правилами РРР [2] появилось требование к обеспечению более утолщенных листовых конструкций и стенок балок рамного набора под грузовыми настилами судов-площадок и настилами второго дна для сухогрузных судов под грузовыми люками, если предусмотрена загрузка-разгрузка грейферами. Многие проекты судов в связи с указанными изменениями нормативной базы перестали удовлетворять требованиям даже своего класса. Перевод таких судов в более высокий класс РРР при прямой реализации норм Правил [1] повлечет производство полной замены или стенок рамного набора и верхнего пояса непроницаемых переборок под всей грузовой площадкой, или, что более целесообразно из технологических соображений, замену всего перекрытия палубы в пределах грузовой площадки. Такая замена потребует значительных трудовых и временных затрат, предъявляет наиболее жесткие требования к технологической составляющей процесса, ограниченности возможного фронта ведения работ из-за сложности обеспечения общей прочности в ходе такой модернизации, и в целом потребует весьма высокого уровня квалификации корпусосборочных работ. Поскольку другие требования Правил [1] по параметрам как местной, так и общей прочности указанных конструкций (моменты инерции и сопротивления), как правило, выполняются, то очевидно, что требование утолщения указанных листовых конструкций может быть связано только с повышением устойчивости (предупреждению выпучивания листовых конструкций).

Настоящая работа посвящена изучению посредством сравнительных экспериментальных исследований возможности компенсации недостаточности толщин оговоренных выше конструкций путем установки накладных листовых элементов.

Произведено экспериментальное определение значений усилий вызывающих потерю устойчивости стенок у сварных двутавровых балок толщиной 5 и 6 мм. Высота стенки выбрана равной высоте стенки рамного бимса баржи-площадки проекта Р-56 (350 мм). Получено на основе пересчета данных значение усилия, которое должно вызвать потерю устойчивости стенки при толщине 6,4 мм – минимального нормативного значения средней остаточной толщины для судна с размерениями баржи проекта Р-56 с классом РРР «ЖМЗ,0» [1]. Исследована величина усилия потери устойчивости у различных вариантов подкрепления конструкций. Выбран вариант соответствующий усилию потери устойчивости тавровой сварной балки с толщиной стенки 6,4 мм (несколько превышающий по значению указанное усилие).

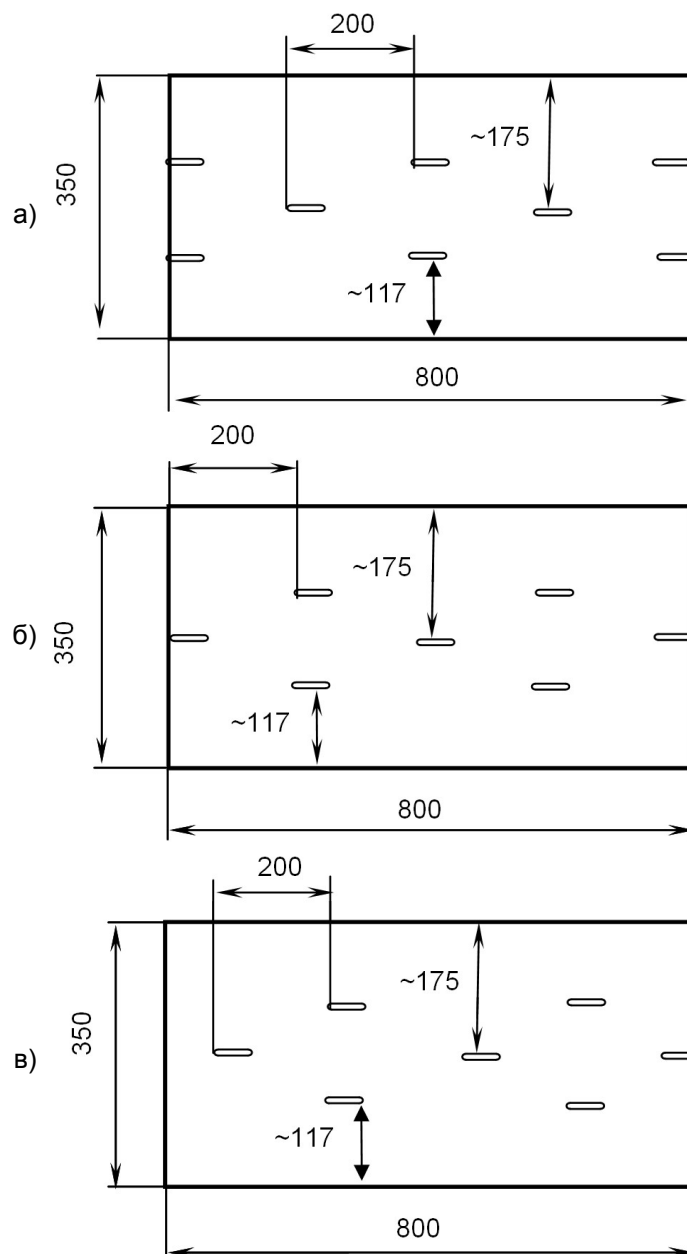


Рисунок 1 – Эскизы подкрепления стенок моделей двутавровых балок с варьированием вида крепления в сечении приложения усилия (середина длины: а)-середина (две электрозаклепки $50 \times 2t$); б)-середина (одна электрозаклепка $50 \times 2t$); в)-середина (без электрозаклепок); t - толщина листа

Дополнительно исследована возможность обмера толщин связей, подкрепленных накладными листовыми элементами, показана возможность точного определения толщин подкрепляемого и подкрепляющего элементов ультразвуковым толщиномером.

При анализе работу стенок тавровых балок будем рассматривать как балок полосок единичной ширины и выбранных толщин. Для обеспечения промежуточных опор по высоте стенки производится установка электрозаклепок, делящих пролет стенки по длине на две и три части. В промежутках между расположением одной и двумя электрозаклепками будем ориентировочно считать длину пролета как полусумму двух оговоренных вариантов.

Приняты следующие варианты крепления дополнительных листовых элементов на стенках балок такой же длины (рисунок 1).

Варианты крепления накладного листового подкрепляющего элемента к полкам испытываемой двутавровой балки изображены на рисунке 2.

Указанные варианты рассмотрены с целью получить наиболее технологичную конструкцию накладного элемента.

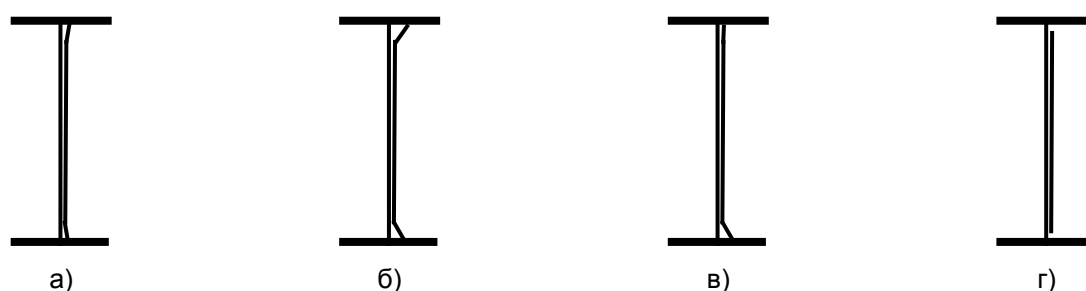


Рисунок 2 – Варианты крепления листового накладного элемента к полкам тавровой балки: а)-вариант с обжатым по сварным швам листовым накладным элементом; б)-вариант с отогнутыми краями примерно под 45° у листового накладного элемента; в)-вариант с одним отогнутым примерно под 45° , а другим обжатым по сварному шву краями листовым накладным элементом; г)-вариант укороченной длины листового накладного элемента и сваркой его концов с полкой и существующим швам тавровой балки

Для нагружения моделей использован пресс, снабженный манометром для фиксации давления в гидроцилиндре. Индентор пресса имеет цилиндрическую форму, диаметр цилиндра 70 мм.

Эксперимент предусматривает сравнительный анализ критического давления (усилия) потери устойчивости образцов из целостных и дублированных стенок. План эксперимента предполагал предварительно произвести измерения усилия потери устойчивости балок с толщиной стенок 5, 6 и 8 мм и получить зависимости фиксируемого давления потери устойчивости стенок балок от их толщины. Затем предусматривалось произвести определение усилия потери устойчивости у образцов балок с дублированной стенкой. По полученной зависимости для образцов с целостной стенкой и значению потери устойчивости образцов с дублированной стенкой получить эквивалентное им значение для образцов с целостной стенкой. Однако усилия нагружения существующего пресса не хватило для обеспечения потери устойчивости образца толщиной 8 мм, потому пришлось прибегнуть к экстраполяции результатов значений потери устойчивости образцов со стенкой 5 и 6 мм.

Фиксация результатов производилась при помощи видеосъёмки, позволяющих точно зафиксировать и многократно воспроизвести значение положения стрелки манометра.

Значения давлений потери устойчивости моделей, оценочное критическое усилие, вызвавшее потерю устойчивости сведены в таблицу 1.



Рисунок 3 – Испытание образца с целостной стенкой толщиной 5 мм

Отдельные моменты экспериментальных исследований приведены на рисунках 3-5.

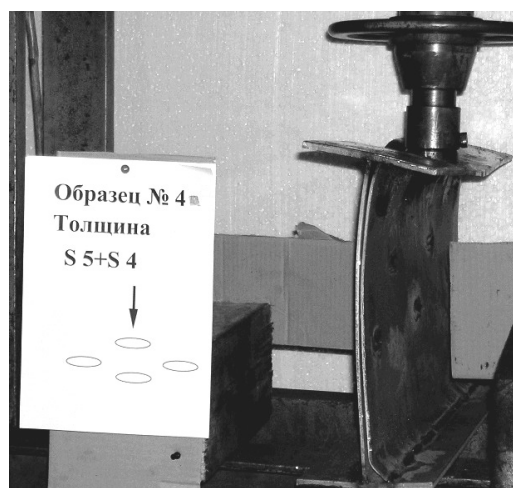


Рисунок 4 – Испытание образца с дублированной стенкой (базовая стенка толщиной 5 мм; дублирующая 4 мм; вариант с нижним отогнутым под 45°, а сверху обжатым по сварному шву краем у листового накладного элемента в месте крепления к поясам балки; усилие прикладывается в месте расположения двух электрозаклепок)



Рисунок 5 – Выпучина стенки образца с дублированной стенкой после прекращения нагружения (базовая стенка толщиной 5 мм; дублирующая 4 мм; вариант с отогнутыми под 45° краями у листового накладного элемента в месте крепления к поясам балки; усилие прикладывается в месте расположения двух электрозаклепок)

Таблица 1 – Результаты испытаний моделей

Эскиз подкрепления стенок	Варианты крепления листового накладного элемента	Толщина стенки, мм		Давление, кгс/см ²	Усилие, кг
		базовой	дублирующей		
Рисунок 2в	–	5	–	106	4079
Рисунок 2в	–	6	–	166	6388
Рисунок 1а	Рисунок 2б	5	4	162	6234
Рисунок 1б	Рисунок 2б	5	4	152	5850
Рисунок 1б	Рисунок 2в	5	4	174	6619*
Рисунок 1а	Рисунок 2в	5	4	186	7158
Рисунок 1б	Рисунок 2а	5	4	186	7158
Рисунок 1в	Рисунок 2а	5	4	186	7158
Рисунок 1б	Рисунок 2г	5	5	202	7774

*-потеря устойчивости началась внизу модели

Расчет по полученному аппроксимационному выражению (рисунок 6) в случае: базовая стенка 5 мм; дублирующая стенка 4,8 мм значение давления 198,9 кгс/см², которое соответствует усилию 7655,6 кг.

Пересчет результатов испытаний устойчивости с одних толщин на другие должен учитывать момент инерции поперечного сечения стенки, а для равной или единичной ширины – пропорционально кубической зависимости от толщины стенки (таблице 2).

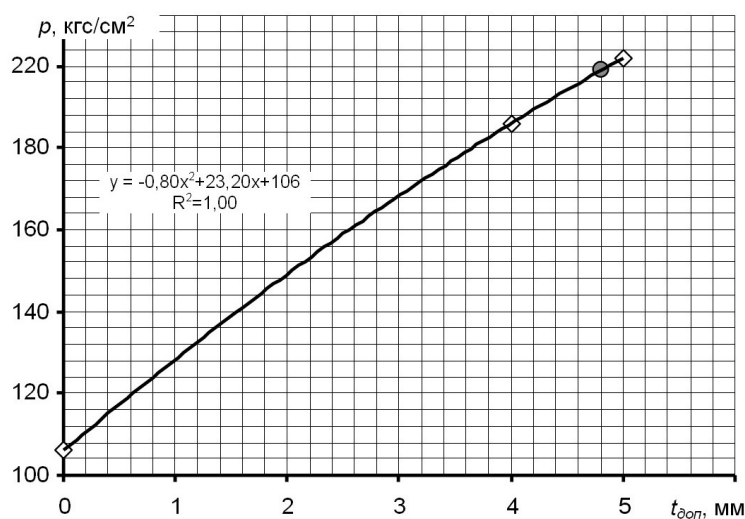


Рисунок 6 – График зависимости давления в цилиндре прессы от толщины накладного листового элемента при толщине базовой стенки 5 мм

Таблица 2 – Определение коэффициентов подобия (масштаба) для пересчета результатов нагрузки элементов с разной толщиной стенки

Толщина базовой стенки t , см	0,5	0,6	0,64
t^3 , см ³	0,125	0,216	0,262
Ожидаемое отношение давлений возникновения неустойчивости к давлению при толщине базовой стенки 0,5 см	1,000	1,728	2,097

На основе таблицы 1 и 2 можно составить пропорциональное соотношение (таблица 3).

Таблица 3 – Вспомогательный расчет для определения значения эйлеровой нагрузки для случая стенки балки толщиной 6,4 мм

Толщина базовой стенки t , см	$\Delta t^3 = t^3 - 0,5^3$	Пропорциональное соотношение	
		ожидаемая разница в приращении давлений по сравнению с базовой стенкой 0,5 см	значение разницы в давлениях, кгс/см ²
0,60	0,728	0,728	60,0
0,64	1,097	1,097	90,4

На основе таблицы 1 и 3 получаем результирующее значение давления, при котором целостная стенка толщиной 6,4 мм потеряет устойчивость, которое будет иметь значение 196,4 кгс/см².

Действительное значение, полученное в эксперименте с дублированной стенкой из двух листовых элементов толщиной: базовая стенка 5 мм; дублирующая стенка 5 мм составляет 202 кгс/см²; а определенное интерполяцией для случая соответственно 5 мм и 4,8 мм – 199 кгс/см². Следовательно, такая стенка обеспечивает устойчивость не меньшую, чем предельно допускаемая по остаточной толщине по нормам РРР стенка (6,4 мм).



Рисунок 7 – Вид с торца на образец дублированной листовой конструкции в плане и ультразвуковой толщиномер

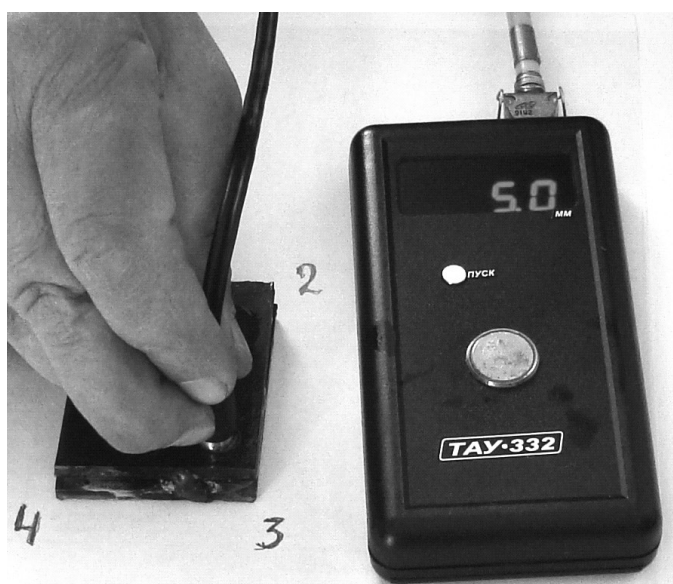


Рисунок 8 – Измерение толщины в углу №3 на образце дублированной листовой конструкции

Одним из вопросов, встающих в связи с предложением модернизации листовых подпалубных элементов судового набора накладными листовыми элементами, является вопрос о контроле износов таких конструкций в ходе дальнейшей эксплуатации. С целью проверки возможности такого контроля ультразвуковым толщиномером была изготовлена модель дублированной конструкции из элементов толщиной 5 мм, причем с разной плотностью прилегания элементов друг другу по их площади. Предварительно, согласно известным технологическим приемам внутренняя поверхность элементов была покрыта грунтовкой (грунтовка серая ГФ-021). Фотографии образца, толщиномера и процесса измерений приведены на рисунках 7 и 8.

Исследования показали хорошую приспособленность такой конструкции к обмерам ультразвуковым толщиномером, фиксирующим толщину каждого дублируемого и дубли-

рующего элементов в отдельности.

Выводы. Варианты показанные на рисунке 2а и 2г показали большую работоспособность, чем варианты на рисунке 2б и 2в. Однако в связи с тем, что обычно характер воздействия и работы стенок рамных балок таков, что максимальная зона деформации имеет место у присоединенного пояса обшивки [3], то возможно рекомендовать для использования как равнопрочный наравне с вариантами на рисунке 2а, 2б и 2г.

На основании проведенных исследований было установлено, что предлагаемая модернизация листовых конструкций под грузовой площадкой барж-площадок проекта Р-56 вводит эти конструкции в соответствие требованиям Правил РРР [1] обуславливающим условие устойчивости стенок при воздействии местных перерезывающих усилий. При этом такая конструкция обеспечивает хорошую приспособленность к неразрушающему контролю ультразвуковыми толщиномерами, имеет место четкая фиксация толщины каждого из элементов дублированной конструкции стенки.

На базе данного эксперимента был разработан способ и зарегистрирована заявка в патентное ведомство РФ №201111607 на выдачу патента на изобретение.

Результаты данного исследования были представлены в главное управление РРР, на основе чего РРР был одобрен проект СКС 013.Р-56 с использованием предлагаемой технологии подкрепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.2. -М.: Новости, 2008. -406 с.
- 2 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.2. -М.: По Волге, 2002. -394 с.
- 3 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.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *устойчивость стенки балки, подкрепление, накладной листовой элемент*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Фомин Александр Викторович, студент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Сащиков Николай Александрович, студент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОРСКОГО СУДНА

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

Д.А. Оськин

PARAMETERS IDENTIFICATION OF MARINE SHIP MATHEMATICAL MODEL
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»
D.A. Os'kin

The paper is devoted to the problem of adjustable model design of marine ships for control system. The identification algorithm based on regression matrix evaluation is proposed and researched. Results of experiments had confirmed the effectiveness of approach developed.

Keywords: sea movement plant, sea ship, adaptive control, adjustable model, identification, Nomoto model

Рассмотрена задача построения и применения настраиваемых моделей для системы адаптивного управления морским судном. Рассмотрен и предложен для использования алгоритм идентификации, основанный на оценке значений регрессионной матрицы параметров. В работе приведены результаты численных экспериментов обработки данных.

Одной из актуальных задач современной теории управления является задача управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности. Морские подвижные объекты (МПО) и, в частности, морские суда (МС) относятся к классу таких объектов. Неопределенность, наряду с нелинейностью, нестационарностью, сложной динамикой взаимодействия с внешней средой приводит к тому, что математическая модель управляемого объекта на этапе разработки системы управления известна частично, что затрудняет синтез системы управления МС традиционными методами.

Одним из подходов для решения задачи управления в условиях неопределенности является синтез адаптивного управления с использованием настраиваемой, или идентификационной, модели (ИМ). Модель может соответствовать полной замкнутой системе управле-

ния или только объекту управления. Далее, алгоритм управления основного контура строится так же, как и в случае, когда параметры объекта известны [1]. Структурная схема системы с НМ приведена на рисунке 1.

Настройка (или идентификация) объекта управления состоит в построении математической модели объекта по его входным и выходным сигналам. В случае, когда структура системы задана, задача идентификации сводится к определению ее параметров [2].

В настоящее время одним из подходов к управлению МПО является метод с использованием модели управляемого объекта.

Существует класс авторулевых устройств, построенных по схеме с настраиваемой моделью [3]. В связи с этим представляется перспективным использование в качестве модели судна линейных моделей Номото 1-го и 2-го порядка. Несмотря на простоту, они обладают основным достоинством – возможностью их использования для аналитического синтеза регуляторов.

Модель Номото. С помощью модели Номото 2-го порядка описывается зависимость изменения значения курса судна ϕ или скорости рысканья ω_y от углового положения пера руля δ [4, 5].

Модель Номото 2-го порядка может быть представлена в виде передаточной функции

$$W(s) = \frac{\omega_y(s)}{s\delta(s)} = \frac{\phi(s)}{\delta(s)} = \frac{k(T_0s+1)}{s(T_1s+1)(T_2s+1)} = \frac{k(T_0s+1)}{s(T_{11}s^2+T_{12}s+1)}, \quad (1)$$

где T_0, T_1, T_2, k – динамические параметры, зависят от линейной скорости судна

$$T_{11} = T_1T_2; \quad T_{12} = T_1 + T_2.$$

Эта модель может быть приведена к модели Номото 1-го порядка

$$W(s) = \frac{\phi(s)}{\delta(s)} = \frac{k}{s(Ts+1)}, \quad (2)$$

где

$$T \approx T_1 + T_2 - T_0.$$

Постановка задачи идентификации. Рассмотрим непрерывную линейную систему $W(s)$ с одним входом $u(t)$ и одним выходом $y(t)$. Так как большинство методов идентификации ориентированы на численные методы и методы цифровой обработки сигналов требуется, чтобы наблюдаемые сигналы $u(t)$ и $y(t)$ были представлены последовательностями дискретных отсчетов. Это обстоятельство вынуждает рассматривать искомую модель системы, как дискретную $W(z)$, от которой может быть осуществлен переход к непрерывной модели реальной системы [6, 7].

Таким образом, задача идентификации сводится к определению значений неизвестных параметров $a_{0...n}, b_{0...m}$ разностного уравнения

$$y_k = \sum_i b_i u_{k-i} - \sum_j a_j y_{k-j}, \quad (3)$$

получаемого из дискретной передаточной функции

$$W(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \frac{\sum_i b_i z^{-i}}{1 + \sum_j a_j z^{-j}}; \quad i = 0...m; \quad j = 1...n. \quad (4)$$

Оценки коэффициентов должны быть найдены согласно заданного квадратичного критерия качества

$$\varepsilon_k = \sum (\hat{y}_k - y_k)^2 \rightarrow \min,$$

где \hat{y}_k – выход модели.

Объединяя все неизвестные коэффициенты в один вектор-столбец

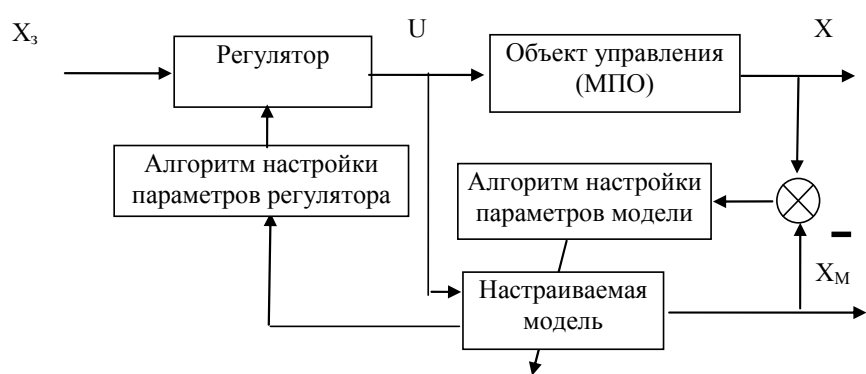


Рисунок 1 – Структурная схема адаптивной системы с НМ

$\xi = (b_0 \ b_1 \dots b_m \ a_1 \ a_2 \dots a_n)^T$ и формируя вектор-столбец, содержащий выходные координаты системы $Y = (y_1 \ \dots \ y_N)^T$, перейдем к системе матричных уравнений, описывающей исходные наборы данных

$$A\xi = Y, \quad (5)$$

где A – матрица экспериментальных данных.

Матрица A формируется построчно, где каждая строка соответствует моменту k дискретного времени и представляет собой вектор

$$A_k = (u_k, u_{k-1}, \dots, u_{k-m}, -y_{k-1}, -y_{k-2}, \dots, -y_{k-n}); \quad k = 1 \dots N. \quad (6)$$

При определенных условиях вектор регрессионных оценок ξ может быть найден исходя из соотношения

$$\xi = A^{-1}Y. \quad (7)$$

где A^{-1} – обратная матрица A .

Однако, точное решение системы (5) в ряде случаев невозможно по причине, что матрица A может не быть квадратной или оказаться вырожденной. В связи с этим рекомендуется искать псевдорешение [8]. Псевдорешением системы называется такой вектор ξ , который при подстановке в (5) дает вектор невязки $A\xi - Y$, минимальный по евклидовой норме.

Существует несколько способов нахождения псевдорешений и одно из них может быть получено следующим способом

$$\xi = [A^T A]^{-1} A^T Y. \quad (8)$$

Моделирование алгоритма идентификации. В работе проводился эксперимент по построению идентификационной модели МС по данным, полученным с помощью аппаратно-программного имитатора сигналов «ИС-2005» ЗАО «Инженерный центр информационных и управляющих систем» [9].

Имитатор позволяет исследовать шесть различных моделей судов, таких, как пассажирское судно прибрежного плавания, траулер, транспортный рефрижератор, пассажирское судно, танкер и супертанкер.

Имитатор моделирует:

- корпус судна, гребной винт, руль, главный двигатель судна, рулевую машину со следящей системой;
- действующие возмущения: постоянный и порывистый ветер, двухмерное морское волнение, постоянное течение;
- датчики: лаг, приемник ГЛОНАСС/DGPS, компас, датчик обратной связи руля и др.

Методика построения идентификационной модели

1 На основании исходных данных (скорость рысканья ω_y , положения пера руля δ) построим модель в дискретном представлении (для модели Номото 1-го порядка в дискретном представлении (4) рекомендуется выбрать индексы $i = 0 \dots 2$; $j = 1 \dots 2$; для модели 2-го порядка $i = 0 \dots 3$; $j = 1 \dots 3$).

2 Оценим качество полученной дискретной модели, сравнив ее отклик на входные данные с исходными данными.

3 Преобразуем дискретную модель в непрерывную и приведем полученную передаточную функцию, упростив непрерывную модель. При упрощении примем равными нулю коэффициенты (при старших степенях s), в том случае, если они окажутся пренебрежимо малы по сравнению с остальными.

Результаты идентификации. Для моделирования было выбрано судно – траулер, со следующими параметрами:

- длина 85,0 м;
- ширина 15,9 м;
- осадка 5,6 м;
- коэффициент общей полноты 0,64;
- площадь руля 11,7 м²;
- число винтов 2;
- тип винта винт регулируемого шага;
- диаметр винта 4,6 м;
- максимальная скорость хода 16 узлов;

– тип двигателя дизель.

При моделировании изменялись параметры внешнего возмущения, действующего на судно:

- направление ветра $30^\circ-90^\circ$;
- средняя скорость ветра 3,5-6,0 м/с;
- максимальная скорость порывов ветра 5-8 м/с;
- генеральное направление бега волн $30^\circ-90^\circ$;
- высота волны 3% обеспеченности 0,50-0,75.

Моделирование было проведено на интервале 500 с. с частотой дискретизации 0,1 с. В результате для нескольких рядов исходных данных были получены коэффициенты моделей со следующими интервалами изменения значений:

– для моделей Номото 1-го порядка:

$$k = 0,0364-0,0437; \quad T = 5,9453-10,1327;$$

– для моделей 2-го порядка:

$$k = 0,0446-0,053; \quad T_0 = (-0,2882)-0,1868743; \quad T_{12} = 12,634-16,4267; \quad T_{11} = 0,1032-0,15097.$$

Заключение. В результате проделанной работы рассмотрен и предложен для использования алгоритм идентификации параметров передаточных функций морского судна – моделей Номото 1- и 2-го порядка. Была проведена оценка параметров моделей при различных внешних условиях, действующих на объект управления – морское судно.

Как показано в работе, параметры моделей принимают значения, распределенные в ограниченных интервалах. Из этого следует, что модель морского судна может быть представлена как модель с интервальными параметрами. Как правило, классические методы синтеза алгоритмов управления не применимы для таких систем. Таким образом, является перспективным развивать методы синтеза систем с интервальной неопределенностью.

Также необходимо отметить, что для рассмотренного алгоритма открытым остается вопрос, связанный с выбором приемливого периода отбора данных для идентификации, а также оценки исходных данных.

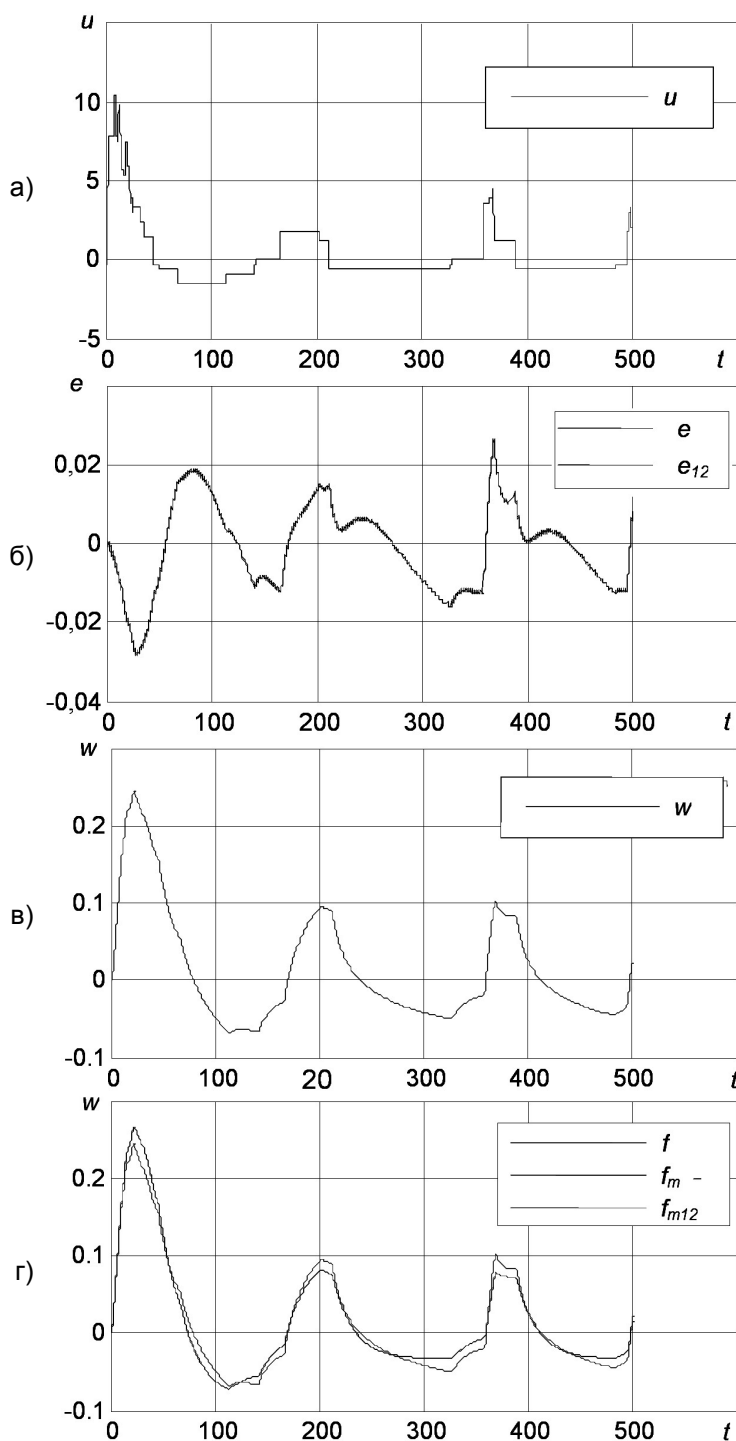


Рисунок 2 – Результаты идентификации: а)-управляющий сигнал $\delta(t)$; б)-скорость рысканья $\omega_y(t)$; в)-ошибки идентификации ε_k для моделей 1-го и 2-го порядков; г)-выходы 1-й и 2-й настраиваемых моделей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Фрадков, А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы / А.Л. Фрадков. -М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. -296 с.
- 2 Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие / Д.П. Ким. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. -464 с.
- 3 Оськин, Д.А. Перспективы применения адаптивных регуляторов в современных системах управления движением морских судов / Д.А. Оськин, В.В. Глазунов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 99-102.
- 4 Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна: учебник / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. -3-е изд., перераб. и доп. -Одесса [и др.]: Феникс [и др.], 2007. -376 с.
- 5 Pomorski, J. Trajectory tracking control system for ship / J. Pomorski, L. Morawski, A. Rak // IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems-CAMS'2004, Ancona, Italy, July 7-9. -2004. -P. 251- 255.
- 6 Дейч, А.М. Методы идентификации динамических объектов / А.М. Дейч. -М.: Энергия, 1979. -240 с.
- 7 Льюнг, Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюнг. -М.: Наука, 1991. -432 с.
- 8 Беклемишев, Д.В. Дополнительные главы линейной алгебры / Д.В. Беклемишев. -М.: Наука, 1983. -336 с.
- 9 Инженерный центр информационных и управляющих систем [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.ecs-ics.ru>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *подвижный морской объект, морское судно, адаптивное управление, настраиваемая модель, идентификация, модель Номото*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Оськин Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»*

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

ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ В ПРИЁМНИКАХ СРНС И ECDIS СПОСОБОМ ПЛАВАНИЯ ПО МЕРИДИАНУ

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

Ю.А. Комаровский

PRECISION VERIFICATION FOR DISTANCES COMPUTED USING GNSS-RECEIVERS AND ECDIS BY THE METHOD OF SAILING ALONG A MERIDIAN

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

Yu.A. Komarovskiy

We have obtained simple formulas for high-precision computation of distances from the Equator to a given latitude on the reference-ellipsoid WGS-84. The obtained formulas allow for a quick estimate of the precision for the algorithms used in the ship's on-board navigation devices to compute distances.

Keywords: GNSS-receiver, ECDIS, precision computation of distance, sailing along meridian

Получены простые формулы для высокоточных расчётов расстояний от экватора до произвольной широты на референц-эллипсоиде WGS-84. С помощью полученных формул можно быстро оценить точность алгоритмов, по которым вычисляются расстояния в судовой навигационной аппаратуре.

Годы последнего десятилетия сопровождалась поступлением на суда различной навигационной аппаратуры. Появились новые типы приёмников спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Современные судовые профессиональные приёмники СРНС Навстар GPS заметно повысили точность определения обсервованных координат, во-первых, за счёт применения новых алгоритмов обработки сигналов спутников и новых алгоритмов вычисления координат и скорости, во-вторых, за счёт завершившейся реорганизации созвездия спутников. Стали появляться на судах двухсистемные приёмники, одновременно обрабатывающие сигналы спутников СРНС Навстар GPS и Глонасс. Такие приёмники всё чаще называют СРНС-приёмниками (GNSS-receiver). В связи со всё более активным переходом к технологиям электронных карт на судах в последние годы стали устанавливаться новые типы аппаратуры электронной картографии – ECDIS (Electronic Chart Display and Information System).

Перечисленная судовая навигационная аппаратура помимо выполнения основных функций обладает способностью вычислять расстояния между двумя точками с заданными геодезическими координатами на поверхности того или иного референц-эллипсоида. Работа автора с подобной аппаратурой позволила обнаружить значительные расхождения в величинах рассчитанных расстояний между одними и теми же точками на одном и том же референц-эллипсоиде у приборов разных типов даже одного изготовителя. При таком сравнении практически невозможно определить, какой из приборов вычисляет расстояние точнее. Кроме того, обнаружилось, что в некоторых приёмниках СРНС и в ECDIS при вычислении рас-

стояния вдоль меридиана разность широт, выраженная в минутах, просто умножается на длину одной морской мили. Поэтому возникла задача создания простого и в то же время высокоточного способа проверки точности вычисления расстояний в современной навигационной аппаратуре. В данной статье предлагается такую проверку выполнять, сравнивая расстояния по меридиану от экватора до параллели с широтой φ , вычисленную прибором, с таким же расстоянием, рассчитанным с помощью простых формул, удобных для получения высокоточного результата даже на микрокалькуляторе. Так как в современной морской навигации чаще всего используется референц-эллипсоид WGS-84, то для получения коэффициентов искомых формул будем задаваться его размерениями.

Известно [1], что длина дуги меридиана S от экватора до параллели с широтой φ выразится интегралом

$$S = \int_0^{\varphi} M d\varphi, \quad (1)$$

где M – радиус кривизны меридианного эллипса земного эллипсоида

$$M = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi)^3}}, \quad (2)$$

a – большая полуось референц-эллипсоида, м,

e^2 – квадрат первого эксцентриситета меридианного сечения референц-эллипсоида.

У референц-эллипсоида WGS-84 $a = 6378137$ м, $e^2 = 0,00669437999013$ [2].

Отсюда

$$S = \int_0^{\varphi} M d\varphi = a(1-e^2) \int_0^{\varphi} \frac{d\varphi}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi)^3}}. \quad (3)$$

Полученный интеграл (3) является эллиптическим. Чтобы получить искомые формулы, разложим подынтегральное выражение в ряд

$$\int_0^{\varphi} \left(1 + \frac{3}{2}e^2\sin^2\varphi + \frac{15}{8}e^4\sin^4\varphi + \frac{35}{16}e^6\sin^6\varphi + \frac{315}{128}e^8\sin^8\varphi + \frac{693}{256}e^{10}\sin^{10}\varphi + \dots \right) d\varphi. \quad (4)$$

Отсюда получим формулы каждого члена подынтегрального ряда

$$\int_0^{\varphi} d\varphi = \varphi; \quad (5)$$

$$\int_0^{\varphi} \frac{3}{2}e^2\sin^2\varphi d\varphi = \frac{3}{2}e^2 \frac{1}{2}(\varphi - \cos\varphi\sin\varphi) = \frac{3}{2}e^2 \frac{1}{2}\left(\varphi - \frac{1}{2}\sin 2\varphi\right); \quad (6)$$

$$\int_0^{\varphi} \frac{15}{8}e^4\sin^4\varphi d\varphi = \frac{15}{8}e^4 \frac{1}{32}(12\varphi - 8\sin 2\varphi + \sin 4\varphi); \quad (7)$$

$$\int_0^{\varphi} \frac{35}{16}e^6\sin^6\varphi d\varphi = \frac{35}{16}e^6 \frac{1}{192}(60\varphi - 45\sin 2\varphi + 9\sin 4\varphi - \sin 6\varphi); \quad (8)$$

$$\int_0^{\varphi} \frac{315}{128}e^8\sin^8\varphi d\varphi = \frac{315}{128}e^8 \frac{1}{3072}(840\varphi - 672\sin 2\varphi + 168\sin 4\varphi - 32\sin 6\varphi + 3\sin 8\varphi); \quad (9)$$

$$\int_0^{\varphi} \frac{693}{256}e^{10}\sin^{10}\varphi d\varphi = \frac{693}{256}e^{10} \frac{1}{10240}(2520\varphi - 2100\sin 2\varphi + 600\sin 4\varphi - 150\sin 6\varphi + 25\sin 8\varphi - 2\sin 10\varphi). \quad (10)$$

Введём обозначения. Пусть

$$K_0 = a(1-e^2); K_1 = a(1-e^2)\frac{3}{2}e^2\frac{1}{2}; K_2 = a(1-e^2)\frac{15}{8}e^4\frac{1}{32}; K_3 = a(1-e^2)\frac{35}{16}e^6\frac{1}{192};$$

$$K_4 = a(1-e^2)\frac{315}{128}e^8\frac{1}{3072}; K_5 = a(1-e^2)\frac{693}{256}e^{10}\frac{1}{10240}.$$

Величины коэффициентов $K_0 - K_5$ были рассчитаны и сведены в таблице 1.

С учётом полученных выражений (4)-(10) формула (1) запишется следующим образом

$$S \approx K_0\varphi + K_1\left(\varphi - \frac{1}{2}\sin 2\varphi\right) + K_2(12\varphi - 8\sin 2\varphi + \sin 4\varphi) + \\ + K_3(60\varphi - 45\sin 2\varphi + 9\sin 4\varphi - \sin 6\varphi) + K_4(840\varphi - 672\sin 2\varphi + 168\sin 4\varphi - 32\sin 6\varphi + 3\sin 8\varphi) + \\ + K_5(2520\varphi - 2100\sin 2\varphi + 600\sin 4\varphi - 150\sin 6\varphi + 25\sin 8\varphi - 2\sin 10\varphi). \quad (11)$$

Оценим вклад последнего члена ряда (при K_5), для чего протабулируем его величину от 0° до 90° . Результаты вычислений представлены на рисунке 1.

Как можно видеть на рисунке 1, последний член ряда (11) внесёт в расчёты плавания по меридиану от экватора до полюса величину не более 0,00009 м. Эта величина настолько мала, что последним членом ряда можно пренебречь без всякого ущерба для точности вычисления расстояний.

На рисунке 2 представлен график зависимости величины пятого члена ряда (11).

Таблица 1 – Величины коэффициентов $K_0 - K_5$, м

Коэффициент	Величина коэффициента
K_0	6335439,32729289221219
K_1	31808,87869598415421
K_2	16,63599383209912
K_3	0,02165482359941
K_4	1,01928950011179e-5
K_5	2,25175870712033e-8

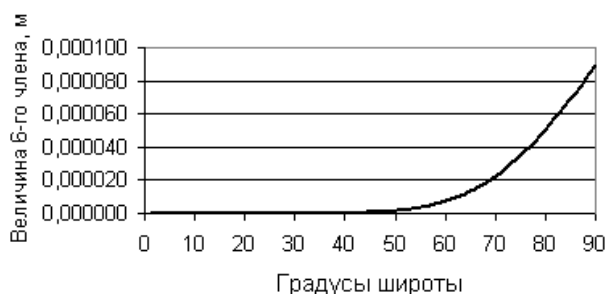


Рисунок 1 – Вклад шестого члена ряда (11)

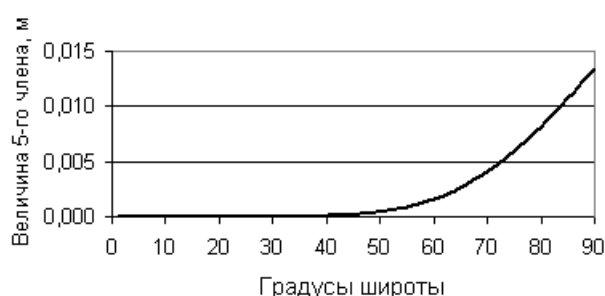


Рисунок 2 – Вклад пятого члена ряда (11)

Из рисунка 2 следует, что ряд (11), состоящий из пяти первых членов можно использовать для высокоточных расчётов расстояний вдоль меридиана. Для широт от 0° до 40° такой ряд можно применять для картографических расчётов.

Вклад четвёртого члена ряда (11) можно оценить с помощью графика рисунка 3.

Анализ рисунка 3 позволяет сделать вывод том, что без четвёртого члена ряда (11) можно выполнять высокоточные вычисления расстояний по меридиану в диапазоне широт от 0° до 35° . Без шестого, пятого и четвёртого членов ряда формулу (11) можно применять для приближённых расчётов по оценке точности вычислений расстояний.

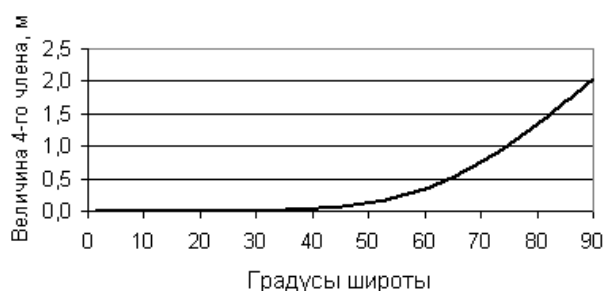


Рисунок 3 – Вклад четвёртого члена ряда (11)

Получим простую формулу для высокоточных вычислений длины дуги меридиана. Для этого отбросим шестой член ряда (11), откроем скобки и приведём подобные. Общий вид искомой формулы будет иметь следующий вид

$$S \approx C_0 \varphi - C_1 \sin 2\varphi + C_2 \sin 4\varphi - C_3 \sin 6\varphi + C_4 \sin 8\varphi, \quad (12)$$

где $C_0 = K_0 + K_1 + 12K_2 + 60K_3 + 840K_4$; $C_1 = \frac{1}{2}K_1 + 8K_2 + 45K_3 + 672K_4$;

$$C_2 = K_2 + 9K_3 + 168K_4; C_3 = K_3 + 32K_4; C_4 = 3K_4.$$

Рассчитанные величины коэффициентов $C_0 - C_4$ сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Величины коэффициентов $C_0 - C_4$, м

Коэффициент	Величина коэффициента
C_0	6367449,14576630932133
C_1	16038,50861533628423
C_2	16,83259965085399
C_3	0,02198099623944
C_4	0,000030578685

СУДОВОЖДЕНИЕ

Простая формула для точных вычислений дуг меридиана получит следующий вид

$$S \approx C_0 \varphi - C_1 \sin 2\varphi + C_2 \sin 4\varphi - C_3 \sin 6\varphi, \quad (13)$$

где $C_0 = K_0 + K_1 + 12K_2 + 60K_3$; $C_1 = \frac{1}{2}K_1 + 8K_2 + 45K_3$; $C_2 = K_2 + 9K_3$; $C_3 = K_3$.

Для вычислений по формуле (13) длин дуг меридиана следует воспользоваться величинами коэффициентов $C_0 - C_3$ таблица 3.

Таблица 3 – Величины коэффициентов $C_0 - C_3$, м

Коэффициент	Величина коэффициента
C_0	6367449,13720427752039
C_1	16038,50176571084347
C_2	16,8308872444938
C_3	0,02165482359941

Приближённые расчёты можно выполнять по формуле (14). При этом в диапазоне широт от 0° до 35° точность вычислений не будет уступать точным и высокоточным расчётам

$$S \approx C_0 \varphi - C_1 \sin 2\varphi + C_2 \sin 4\varphi, \quad (14)$$

где $C_0 = K_0 + K_1 + 12K_2$; $C_1 = \frac{1}{2}K_1 + 8K_2$; $C_2 = K_2$.

Приближённые вычисления по формуле (14) можно выполнять, принимая во внимание величины коэффициентов таблица 4.

Таблица 4 – Величины коэффициентов $C_0 - C_2$, м

Коэффициент	Величина коэффициента
C_0	6367447,83791486155587
C_1	16037,52729864887008
C_2	16,63599383209912

Чтобы облегчить выбор формулы для расчёта, были вычислены длины дуг меридиана от экватора референц-эллипсоида WGS-84 через 10° широты по формулам (12)-(14) с точностью до миллиметра. Результаты вычислений можно видеть в таблице 5.

Таблица 5 – Длины дуг меридиана от экватора, м

Широта	Расчет по (12)	Расчет по (13)	Расчет по (14)
10°	1105854,833	1105854,833	1105854,833
20°	2212366,254	2212366,254	2212366,254
30°	3320113,397	3320113,397	3320113,392
40°	4429529,030	4429529,030	4429528,997
50°	5540847,041	5540847,041	5540846,914
60°	6654072,819	6654072,817	6654072,469
70°	7768980,727	7768980,723	7768979,973
80°	8885139,871	8885139,863	8885138,526
90°	10001965,729	10001965,715	10001963,674

Как следует из таблицы 5, в диапазоне широт от 0° до 50° формулы (12) и (13) дают одинаковые результаты. Максимальная разница между результатами, полученными по этим формулам, не превышает 14 мм при плавании вдоль меридиана от экватора до полюса. Одинаковую с формулами (12) и (13) точность вычисления формула (14) обеспечивает в диапазоне от 0° до 20° . При плавании по меридиану от экватора до широты 30° отличие результатов вычислений по формуле (14) от высокоточного способа вычислений составляет 5 мм.

В формулах (12)-(14) широта φ присутствует в радианной мере. В навигации координаты принято использовать в градусной мере. Полезно напомнить формулу перехода от градусной меры широты φ° к широте, выраженной в радианной мере φ

$$\varphi = \frac{\pi \varphi^\circ}{180}.$$

Полученные формулы будут полезны не только для оценки точности вычислений расстояний в GNSS-приёмниках и ECDIS. С помощью этих формул можно рассчитывать погрешности, когда при плавании вдоль меридиана длину дуги одной минуты принимают равной одной морской мили. Формулы (12)-(14) окажутся полезными для точных вычислений длин дуг меридиана, заключённых между параллелями с разными широтами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Каврайский, В.В. Избранные труды. В 2 т. Т. II. Математическая картография / В.В. Каврайский. -М.: Изд. Упр. начальника Гидрограф. службы ВМФ, 1958. -319 с.
2 World Geodetic System 1984. Department of Defense Technical Report TR 8350.2. 1 Sept. 1991. -152 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: приёмник СРНС, ECDIS, точные вычисления расстояний, плавание по меридиану
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, СИС, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»

ВЛИЯНИЕ ПОМЕХ НА ТОЧНОСТЬ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ СУДНА

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

Е.А. Константинова

DISTURBANCE INFLUENCE ON NEURAL NETWORK IDENTIFICATION OF SHIP
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»
E.A. Konstantinova

Marine ships are subjected to influence of external environment factors. In the paper the exactness of recurrent neural networks model of ship is researched in case of disturbance. The results of experiments are given and discussed.

Keywords: neural networks, identification, ship dynamics influence of external factors

Рассмотрен подход к моделированию динамики судна на базе нейронных сетей. Исследуется влияние помех на точность нейросетевой идентификации. Приведены и обсуждаются результаты численных экспериментов.

Современное судно оснащено системами управления, которые используют традиционные принципы управления, требующие перенастройки коэффициентов применяемых регуляторов для учета нестабильности характеристик судна. Это, безусловно, влияет на скорость и эффективность управления. Перспективным является подход к автоматизации процесса управления с возможностью применения нейросетевых технологий управления.

Наибольшей ценностью нейронных сетей является их способность при обработке измерительной информации извлекать неявно выраженные закономерности из потока данных.

Следовательно, при использовании обучающей выборки, можно настроить искусственные нейронные сети (ИНС) для решения практических задач, даже без знания математической модели. Более того, возможен учет реальных свойств управляемой системы и доучивание в процессе эксплуатации [1,2].

Причем, если в математической модели нельзя точно учесть стохастическое влияние шумовых помех, обусловленных неточностью измерений, невозможностью строгого измерения внешних возмущений – ветра, волн, течений – то нейронная сеть является более гибко настраиваемым инструментом.

Для оценки влияния помех на процесс обучения нейронной сети был проведен численный эксперимент, где рассматривается ИНС, которая выполняет задачу эмуляции модели Номото первого порядка, так как именно математическая модель Номото рекомендована Международной конференцией опытовых бассейнов для практического использования при решении ряда прикладных задач судовождения. Это тип частной модели, в которой рассматривается изменение курса морского подвижного объекта только в зависимости от переключений руля [3]. Указанная зависимость выражается уравнением

$$T_1 \frac{d\omega}{dt} + K_c \omega = K \delta,$$

и имеет два параметра T_1 и K . Параметр T_1 характеризует инерционные свойства судна,

параметр K - его поворотливость, K_c - сопротивление вязкой среды. Уравнение устанавливает дифференциальную зависимость угловой скорости ω поворота судна вокруг вертикальной оси от кладки руля δ . Именно эту зависимость и имитирует рассматриваемая ИНС.

На рисунке 1 изображена структура рекуррентной ИНС, где u - входное воздействие; Z^{-1} - звено единичного запаздывания; $N(w, v)$ - блок передачи, представляющий, ИНС прямого распространения; w, v - символы весовых коэффициентов нейросети.

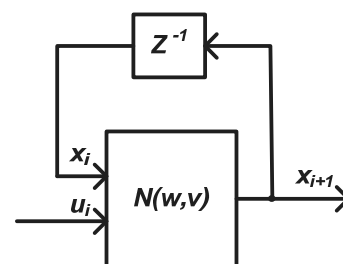


Рисунок 1 – Структура рекуррентной ИНС

Оказалось, что даже простейшая сеть, состоящая из двух слоев по два нейрона, может справиться с задачей эмуляции модели Номото первого порядка.

Вначале настраивается ИНС без учета помех. При обучении нейронной сети осуществляется настройка весовых коэффициентов нейронов в слоях для того, чтобы минимизировать несоответствие между обучающей выборкой (значениями, рассчитанными по формуле Номото) и выходами ИНС до приемлемой точности. Работа ненастроенной сети представлена на рисунке 2. Кривая 1-обучающая выборка, рассчитанная по модели Номото, кривая 2-реакция ИНС. Квадрат разницы между значениями выборки и реакцией обучаемой сети – кривая 3 показывает ошибку в ненастроенной сети.

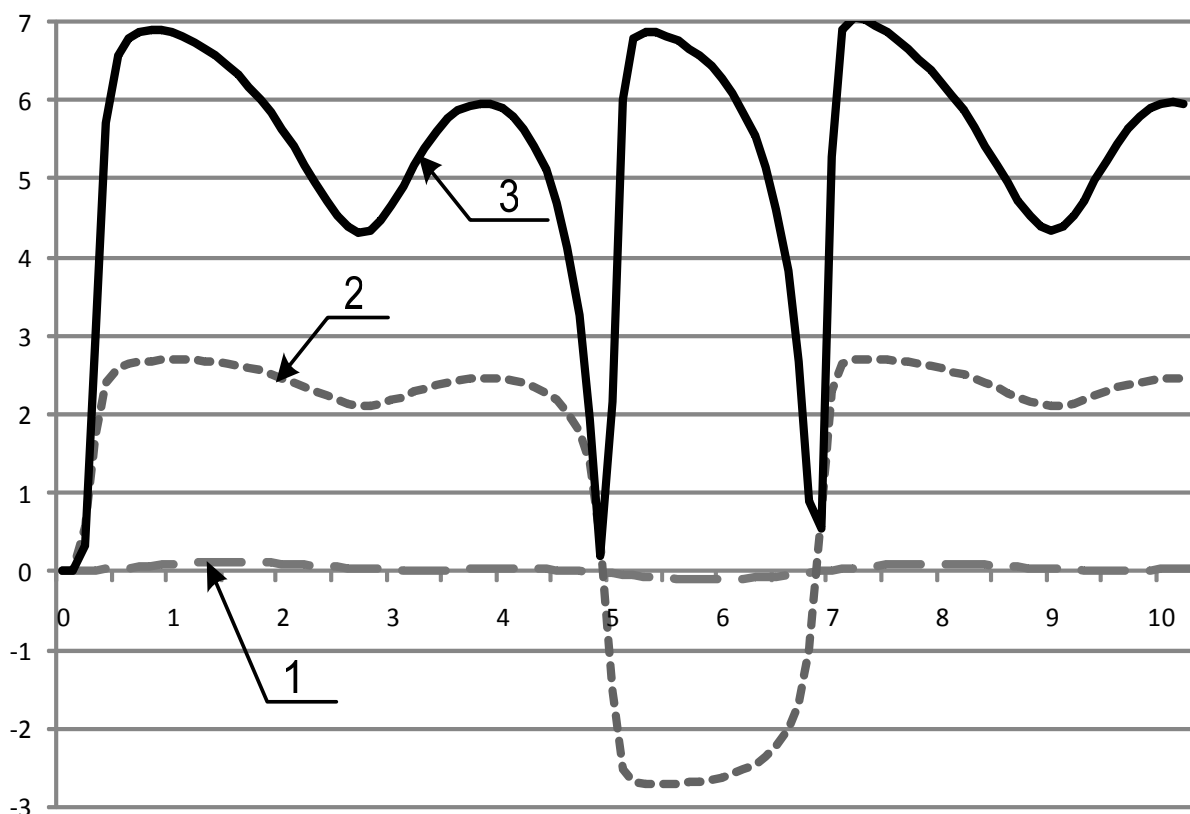


Рисунок – Ненастроенная сеть

Настройка весовых коэффициентов ИНС производится с помощью инструмента оптимизации MS Excel-надстройки Поиск решения. Алгоритм механизма оптимизации – метод Ньютона. Настройка весов производится для удовлетворения требования минимизации значения ошибки, которое в данном рассматриваемом случае считается как сумма квадратов разницы между значениями выборки и реакцией обученной сети (рисунок 3).

Была проверена работоспособность настроенной нейронной сети при подаче данных, не входящих в обучаемую выборку. Тестирование сети показало хороший результат, представленный на рисунке 4.

Задачей проведения численного эксперимента была проверка робастности обученной нейросети на воздействие внешних помех, которые, в общем случае, могут включать в себя

стохастические воздействия ветро-волновых возмущений, а также влияния мелководья, течения. Привносят свой вклад и ошибки измерений.

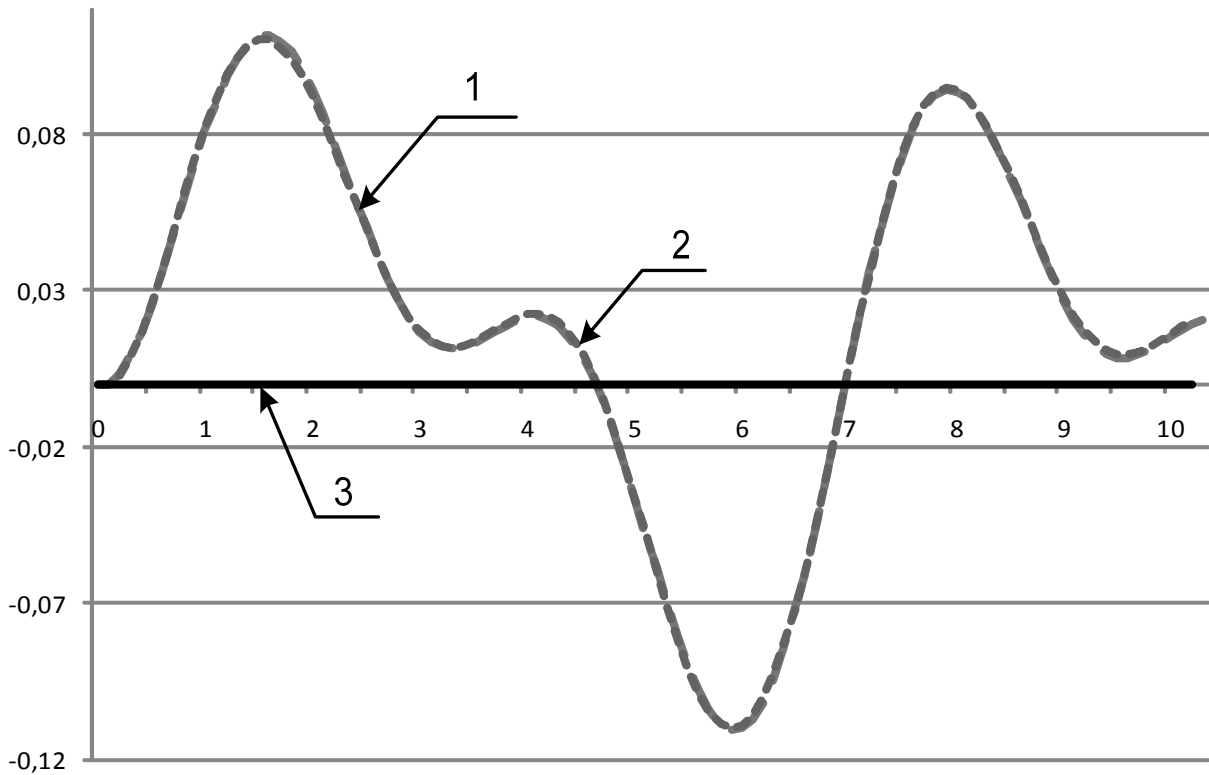


Рисунок 3 – Настроенная сеть

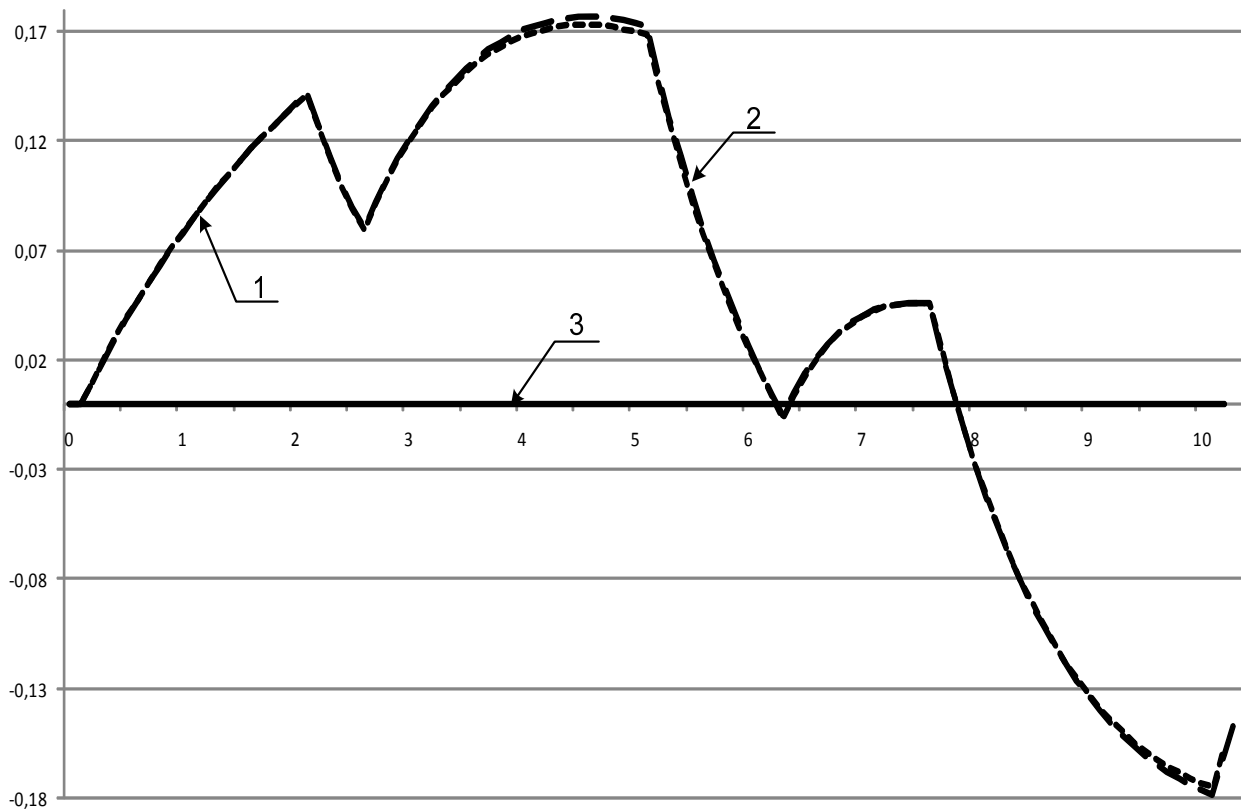


Рисунок 4 – Тестирование настроенной нейронной сети

Вначале была смоделирована помеха, вносимая волновым возмущением, с учетом коэффициента влияния волны от 0,1 до 2 на частоте 0,001. Значение ошибки (сумма квадра-

тов разницы между значениями выборки и реакцией ИНС) в этом случае не превышает в худшем варианте 0,01 (рисунок 5).

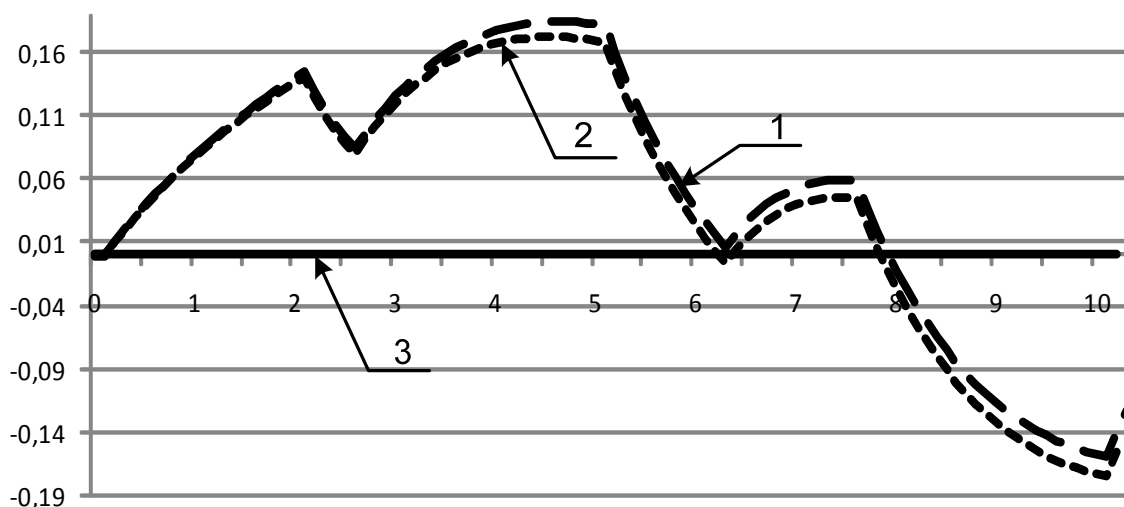


Рисунок 5 – ИНС с учетом волновой помехи

Ошибки измерений были смоделированы с использованием белого шума. Шум в численном эксперименте формировался с использованием функции генерирования равномерно распределенного случайного числа. Численный эксперимент показал, что модель Номото и основанная на ней ИНС робастна к входному шуму в широком диапазоне и ошибка не превышает значения 0,02 при трехкратном коэффициенте влияния равномерно распределенного случайного числа.

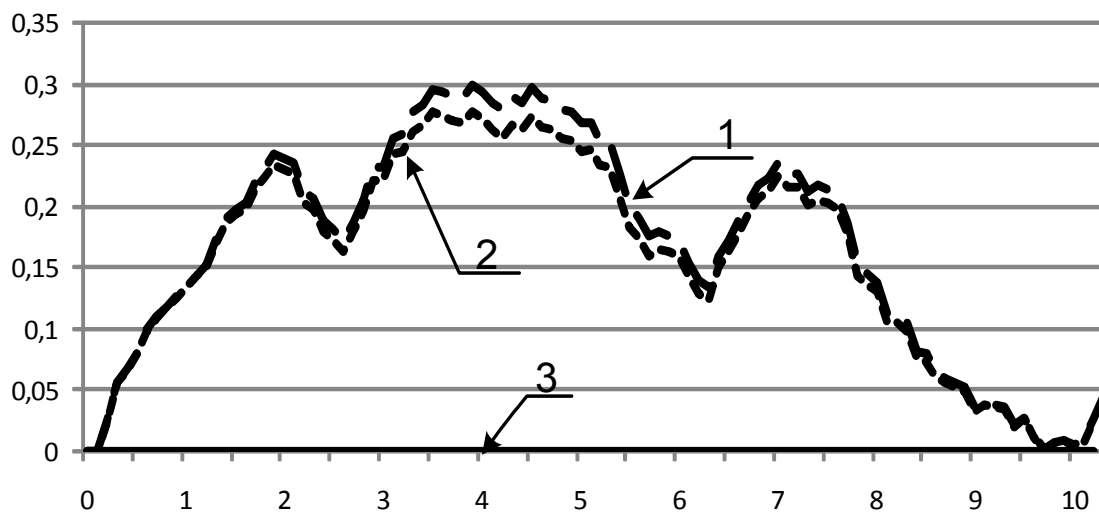


Рисунок 6 – ИНС с учетом ошибки измерений

Если шумовая составляющая приплюсовывается в обучающей последовательности, основанной на модели то приемлемое значение ошибки возможно при уровне 0,2 этого случайного числа.

При превышении значений вносимых помех необходимо изменить архитектуру сети с увеличением количества нейронов в слоях, либо количества самих слоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Narendra, K. Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks / K. Narendra, K. Parthasarathy // IEEE Trans. on Neural Networks., march. -1990. -Vol.1, N.1.
- 2 Омату, С. Нейроуправление и его приложения / С. Омату, М. Халид, Р. Юсуф. -М.: Радиотехника, 2000. -272 с.
- 3 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.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нейронные сети, идентификация, динамика судна, влияние внешних факторов
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Константинова Елена Анатольевна, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ СУДНА

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

А.А. Дыда, Е.А. Константинова, Д.А. Оськин

NEURAL NETWORK IDENTIFICATION OF SHIP NONLINEAR DYNAMICS
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»
A.A. Dyda, E.A. Konstantinova, D.A. Os'kin

The paper is devoted to the problem of ship nonlinear dynamics approximation via recurrent neural networks. Numerical experiments had demonstrated the perspectivity and efficiency of approach proposed.

Keywords: neural networks, identification, ship dynamics, nonlinearity

Исследуется вопрос построения рекуррентных нейронных сетей, моделирующих априорно неопределенную динамику судна. Решается задача обучения нейронных сетей при различных формах нелинейности модели. Приводятся и обсуждаются результаты численных экспериментов. Показана перспективность аппроксимации динамики объекта.

Математическая модель динамики судна в общем случае представляет собой систему 12 нелинейных дифференциальных уравнений, с помощью которой при подстановке в неё коэффициентов, соответствующих параметрам судна и внешних воздействий можно описать его движение.

Полная математическая модель пространственного движения морского подвижного объекта (МПО) сложна и малопригодна для исследования систем управления МПО и их технической реализации. В большинстве случаев в процессе моделирования пренебрегают изменением осадки, углов крена, дифферента и рассматривают только плоскопараллельное движение судна.

В литературе [1-4] приведен анализ математических моделей при различных режимах движения МПО и сделан вывод о достаточном соответствии описания движения судна линейной моделью при малых углах дрейфа и закладок пера руля, при малых углах сноса, при малых скоростях в режиме установившейся циркуляции. Линейная модель наиболее проста в использовании, но в силу своего несоответствия реальным динамическим системам область ее применения достаточно ограничена.

Частично линеаризованная модель предполагает некоторую кусочно-линейную аппроксимацию для боковых сил, действующих на корпус судна на циркуляции и при небольших глубинах, и является наиболее распространенным видом математических моделей движения судна.

Однако, такая модель не может адекватно отражать циркуляцию судна одновременно с разгоном и торможением, дает большие ошибки при сильном попутном ветре, при маневрировании на малом ходу или когда линейная скорость возмущения (ветер, волнение) становится соизмерима с собственной скоростью судна.

Нелинейные модели движения судна с учетом возможных маневров судна являются наиболее сложными и наиболее точными. Применение нелинейных моделей приводит к значительному увеличению временных и аппаратных ресурсов [1-4].

В подобных случаях привлекательным становится использование искусственных нейронных сетей (ИНС), так как нейросети способны учитывать различные нелинейности. Особым преимуществом нейронных сетей является их способность извлекать существующие закономерности из последовательности обрабатываемых данных. Таким образом, для решения практических задач можно использовать обучающую выборку, соответствующую действительному поведению реального объекта, и настроить ИНС. Кроме того, возможно доучивание нейросети в процессе эксплуатации [5, 6].

Для оценки перспективности применения ИНС и учета нелинейности внешнего возмущения были проведены численные эксперименты на рекуррентной ИНС. Простейшим примером нелинейной динамики суда может служить следующее дифференциальное уравнение

$$T \frac{d\omega}{dt} + f(\omega) = K\delta, \quad (1)$$

где T, ω – соответственно момент инерции и угловая скорость вращения судна относи-

- тельно вертикальной оси;
 δ – угол кладки руля;
 K – коэффициент эффективности руля;
 $f(\omega)$ – момент вязкого сопротивления.

В простейших случаях, например, в моделях Номото, $f(\omega)$ представляет собой известную линейную функцию. В действительности же, как показывает обзор литературы, эта функция является достаточно сложной и традиционно оценивалась экспериментально. Проведение таких натуральных экспериментов является дорогостоящим и трудоемким процессом.

Исследуем возможность моделирования динамики судна с априорно неизвестными нелинейными составляющими. Для обучения ИНС в качестве источника данных были выбраны несколько вариантов нелинейностей в дифференциальном уравнении (1).

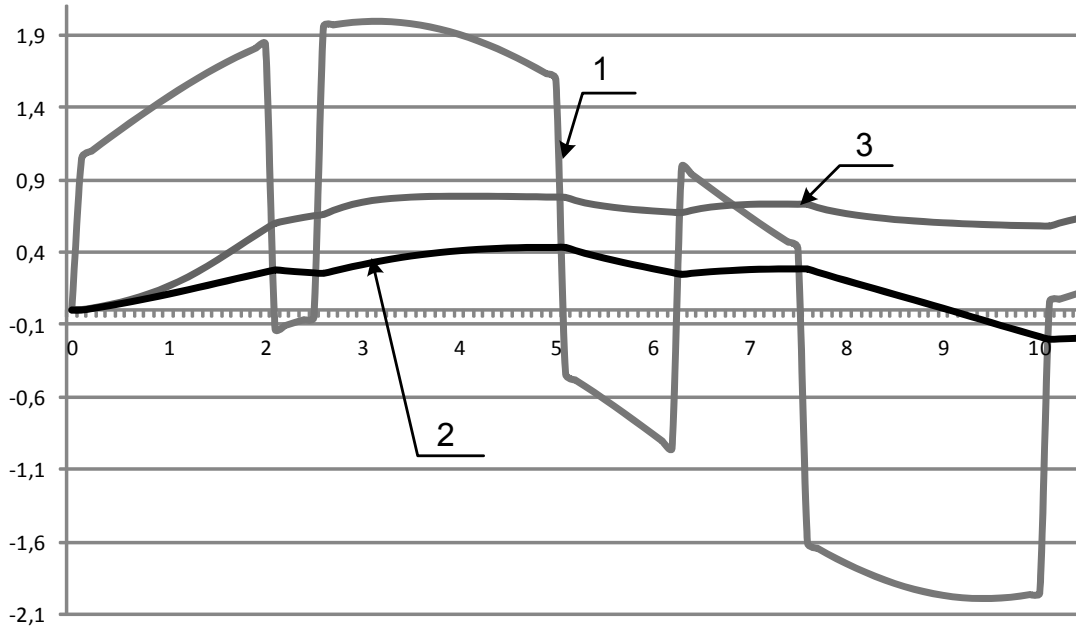


Рисунок 1 – Ненастроенная ИНС

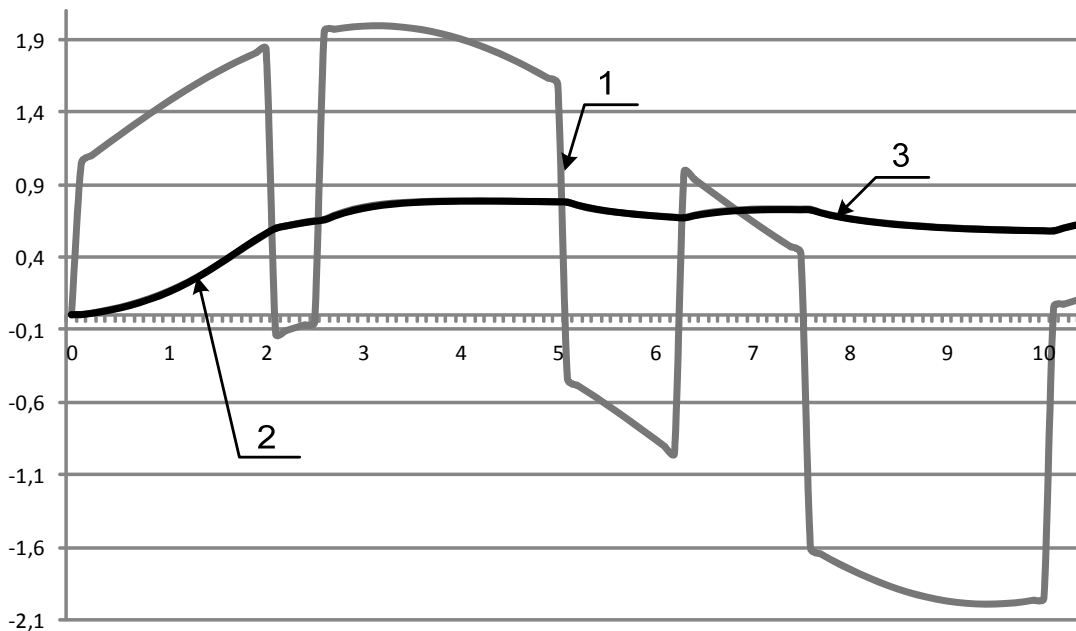


Рисунок 2 – Настроенная ИНС

Рекуррентная сеть состояла из двух слоев по два нейрона и имела два входа, на которые поступали значения угла пера руля и угловой скорости на предыдущем шаге моделирования.

В режиме обучения рекуррентная ИНС фактически разомкнута. После обучения выход сети через блок единичной задержки подключается к ее входу, чем обеспечивается моделирование динамики судна.

На рисунке 1 приведены результаты моделирования необученной ИНС с нелинейными составляющими. Кривая 1 представляет собой входное воздействие (положение руля), кривые 2 и 3 представляют собой выход ИНС и угловую скорость судна соответственно.

На рисунке 2 приведены результаты численных экспериментов с обученной ИНС с учетом нелинейной функции момента вязкого сопротивления. Слияние двух кривых показывает высокую степень воспроизведения ИНС динамики реального объекта.

Была проверена работоспособность настроенной нейронной сети при подаче данных, не входящих в обучающую выборку. Результаты тестирования приведены на рисунке 3.

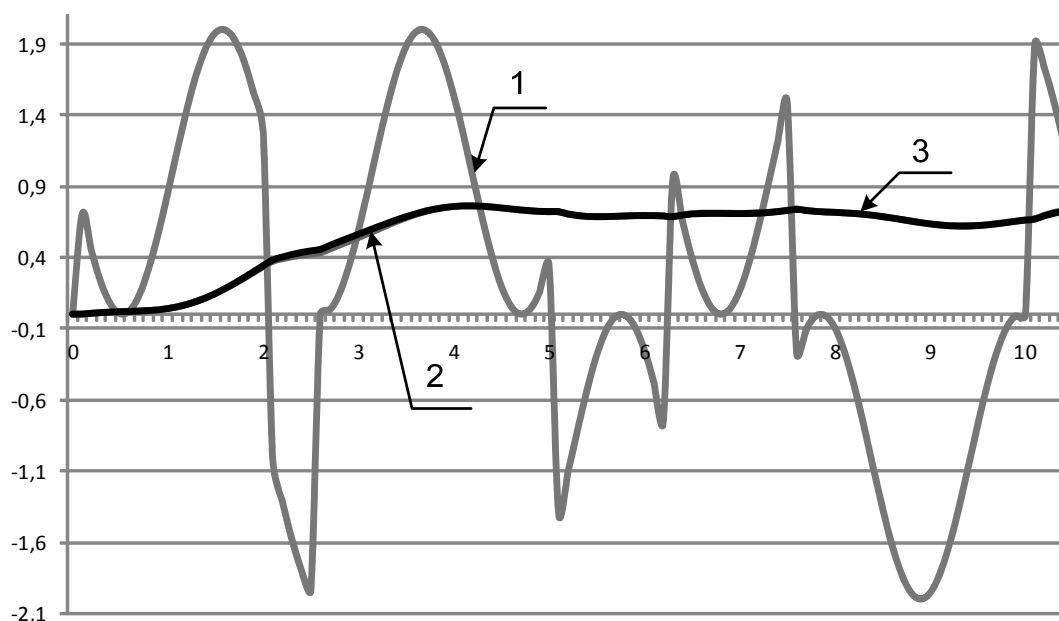


Рисунок 3 – Тестирование нейронной сети

Были проведены численные эксперименты при различных вариантах нелинейной функции момента вязкого сопротивления: смоделирована кубическая зависимость $f(\omega)$, степени 3/5, степенная с изменением коэффициента K , комбинированная, состоящая из суммы степенной функции и константы. Результаты показали высокую точность нейросетевой аппроксимации динамики судна и перспективность их использования в качестве эмулятора нелинейной модели МПО.

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. Степахо //Вестн. МГТУ: труды /Мурман. гос. техн. ун-т. -2009. -Т.12, №1. -С. 234-240.
- 3 Юдин, Ю.И. Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ / Ю.И. Юдин, И.И. Сотников // Вестн. МГТУ: труды /Мурман. гос. техн. ун-т. -2006. -Т.9, №2. -С. 200-208.
- 4 Юдин, Ю.И. Маневренные характеристики судна как функции параметров его математической модели / Ю.И. Юдин, С.И. Позняков // Вестн. МГТУ: труды /Мурман. гос. техн. ун-т. -2006. -Т.9, №2. -С. 234-240.
- 5 Дыда, А.А. Адаптивное и нейросетевое управление сложными динамическими объектами / А.А. Дыда. -Владивосток: Дальнаука, 2007. -149 с.
- 6 Омату, С. Нейроуправление и его приложения / С. Омату, М. Халид, Р. Юсуф. -М.: Радиотехника, 2000. -272 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нейронные сети, идентификация, динамика судна, нелинейность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дыда Александр Александрович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»

Константинова Елена Анатольевна, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»

Оськин Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»

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

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСА «ДИЗЕЛЬНАЯ СУДОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА – СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФЛОТА РЕЧНОГО ПАРОХОДСТВА»

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов, Л.А. Шеромов

DIAGNOSTIC MODEL OF THE "DIESEL SHIP POWER PLANTS – SHIPPING COMPANY TECHNICAL OPERATIONS FLEET SYSTEM"

«Novosibirsk state academy of water transport»
S.V. Vikulov, L.A. Sheromov

From the standpoint of a single system approach proposed generic diagnostic model of the "diesel ship power plants – a system of technical operations fleet Shipping Company", based on the principle of optimal control. A detailed analysis of the elements of this complex for diagnostic purposes and the ways to further theoretical and experimental studies.

Keywords: system analysis, model diagnostics, maintenance, marine power plant, technical maintenance of the fleet

С позиций единого системного подхода предложена обобщенная диагностическая модель комплекса «дизельная СЭУ – система ТЭФ речного пароходства», основанная на принципе оптимального управления. Проведён детальный анализ элементов этого комплекса для целей диагностики и намечены пути дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Разработать систему диагностирования и прогнозирования технического состояния объекта и, в том числе, основных элементов судовой энергетической установки (СЭУ) это значит [1, 2]:

- сформировать диагностическую модель;
- выявить закономерности изменения параметров технического состояния объектов диагностирования;
- выбрать диагностические параметры;
- определить характеристики их изменения и связи с параметрами состояния объекта;
- осуществить выбор и технико-экономическое обоснование соответствующих методов и измерительных средств;
- установить нормативные значения диагностических параметров;
- определить способы постановки диагноза;
- определить оптимальный алгоритм диагностирования и прогнозирования.

Теоретическое обоснование конкретных методов оценки основных элементов СЭУ и соответствующих им алгоритмов диагностирования и прогнозирования, связано в нашем случае с изучением системы «дизель-масло-валопровод СЭУ». Для исследования свойств, связей этой системы и динамических процессов, протекающих в ней, во-первых, как отмечалось выше, необходимо получить её диагностическую модель. Эта модель, используемая для определения состояния конкретного элемента системы, должна позволить сформулировать критерии для оценки его состояния, разработать оптимальные алгоритмы диагностирования и прогнозирования.

Так как обсуждаемая система является сложной стохастической системой, представляется целесообразным рассматривать её с позиций кибернетики и системного анализа. В формулировке академика А.Н. Колмогорова: «Кибернетика занимается изучением систем любой природы, способных воспринимать, перерабатывать информацию и использовать её для управления и регулирования». Системный подход вызывает, в свою очередь, множество новых идей и методов в области анализа и синтеза сложных технических и природных систем [1].

Для технической диагностики применима модель «черного ящика», используемая в кибернетике и системном анализе. Суть методологии применения этой модели в следующем. Если анализируемая система сложна и малоизученна, отсутствует её математическая модель или эта модель недостаточно адекватна протекающим в системе процессам, то можно найти некоторые системные закономерности, не вникая в подробности устройства этой системы и в физику протекающих в ней явлений. Для этого надо проводить ряд опытов над системой, задаваясь некоторыми параметрами на её входе (входах) и получая при этом некоторый отклик на выходе (выходах).

Многokrатно повторяя эти опыты, мы получим более или менее устойчивую связь между входными и выходными параметрами – системную закономерность. Поскольку, получаемые системные закономерности достаточно сложны, то необходимо дополнительное устройство (обычно, на базе компьютера), которое могло бы обрабатывать данные, идущие от исследуемой системы (в нашем случае от элементов СЭУ), в автоматизированном режиме. Это дополнительное устройство и есть собственно диагностическая система. Очевидно, сама диагностическая система также должна включать элементы системного подхода, то есть допускать построение системных закономерностей в процессе постановки диагноза при отсутствии полностью адекватных моделей этого процесса.

Более того, тесная взаимосвязь процессов, происходящих в системе «дизель-масло-валопровод СЭУ», общее целевое назначение её в существующей системе технической эксплуатации флота (ТЭФ) речного пароходства или судоходной компании – обеспечение надёжности, экономичности, увеличение ресурса работы – приводят к необходимости рассматривать данные системы как единый комплекс. Однако к настоящему времени такой подход находит ограниченное применение и практически не изучен. В данной статье принята попытка восполнить этот пробел.

Представим рассматриваемый комплекс обобщённой диагностической моделью (рисунок), основанной на принципе оптимального управления. Детальный анализ этой модели позволит разработать конкретные математические модели оценки состояния конкретных элементов комплекса.

Выделим из комплекса две подсистемы: ОД-объекты диагностирования (управляемая подсистема «дизель-масло-валопровод СЭУ») и УС-управляющую подсистему.

Для более подробного анализа ОД в ней целесообразно, на наш взгляд, рассматривать следующие элементы и процессы:

- трущиеся детали дизеля, омываемые маслом;
- системы дизеля (топливную, охлаждения и очистки воздуха);
- работающее масло и агрегаты маслоочистки;
- рабочий процесс;
- угар масла;
- валопровод с демпфером крутильных колебаний.

В составе УС, применительно к диагностированию и управлению состоянием ОД, представляется целесообразным выделить такие элементы, как:

- теплотехническую лабораторию пароходства или судоходной компании, осуществляющих спектральный (САМ) и физико-химический (ФХАМ) анализы масел;
- группу математического обеспечения и компьютерного моделирования (МОК).

Все эти перечисленные элементы в совокупности в составе УС представляют собой информационный орган (ИО).

Далее в составе УС выделим управляющий орган (УО), включающий в себя службу технического менеджмента (ТМ), а это конкретно – аппарат управления службы судового хозяйства пароходства или компании (ССХ), ремонтно-эксплуатационные базы (РЭБ) и службу технического обслуживания СЭУ (СТО СЭУ). В её качестве рассматриваются экипажи судов, ремонтно-обслуживающий персонал береговых производственных участков (БПУ) и т.п.

В диагностической обобщённой модели комплекса (рисунок) выделены и обозначены следующие входные и выходные воздействия и связи, отражающие информационные процессы этого комплекса:

- 1а-информация о действительном техническом состоянии эксплуатируемых элементов СЭУ, их неисправностях, смене деталей, ремонтах и т.д.;
- 1б-информация о состоянии объекта диагностирования, поступающая в виде проб масла, снятых с дизелей спектрограмм крутильных колебаний и др.;
- 1в-информация о качестве поставляемых масел и топлив;
- 1г-информация о результатах измерения комплекса величин контролируемых диагностических параметров и показателей свежего масла и топлива;
- 1д-информация о методах обработки результатов анализов масел, программы и планы экспериментов, алгоритмы поиска диагностических нормативов, алгоритмы распознавания, анализ ошибок и т.д.;
- 1е-систематизированная, обработанная и удобная для обозрения информация, на основе которой принимаются управляющие решения;
- 2а-управляющие решения (заключения) о техническом состоянии ОД;

- 2б-управляющие решения по каждому элементу ОД, то есть обратные связи (техническое обслуживание и ремонты, смена масла т.п.);
- 3а-поток продуктов износа и старения, поступающий в систему смазки;
- 3б-обратная связь влияния состояния работающего масла (системы смазки) на трущиеся детали дизеля;
- 4а-влияние рабочего процесса на состояние трущихся пар;
- 4б-влияние рабочего процесса на состояние масла и его угар;
- 4в-влияние валопровода СЭУ на состояние трущихся деталей;
- 5а-влияние систем дизеля, оказываемое на состояние трущихся деталей дизеля;
- 5б-влияние систем дизеля, оказываемое на качество масла, агрегаты маслоочистки и угар масла;
- 5в-влияние рабочего процесса на состояние валопровода СЭУ;
- 6-управляющие воздействия на ОД в виде изменения режима его работы, условий эксплуатации.

Кроме того, на схеме отдельно выделен торсионный датчик, присоединяемый к объекту диагностирования (валопроводу) [3, 4]. Полученная информация 1б затем поступает в группу МОК (рисунок).

Как видно из анализа рассматриваемой модели, связи внутри ОД достаточно неоднозначны и неопределенны. Например, топливная система и система охлаждения, оказывают влияние на гидродинамический режим трения деталей, которое невозможно учесть количественно. Кроме этого, ОД и УС находятся под влиянием множества случайных факторов Z_1 и Z_2 реальных условий технической эксплуатации флота.

Характерной особенностью судового дизеля, входящего в состав СЭУ, является то, что он является машиной циклического действия. При этом рабочий процесс, осуществляемый в цилиндрах, так же как и кинематика КШМ, преобразующего возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала, являются мощным источником динамических возмущений в силовых потоках передачи механической энергии упругими звеньями этой сложной динамической системы. Существование периодических по времени и углу поворота коленчатого вала газовых и инерционных возмущающих сил, и моментов определяет практически для всех дизельных СЭУ наличие нескольких резонансных зон во всём эксплуатационном диапазоне частот вращения коленчатого вала [5, 6].

Причинами утраты ресурсных показателей СЭУ служат необратимые физические про-

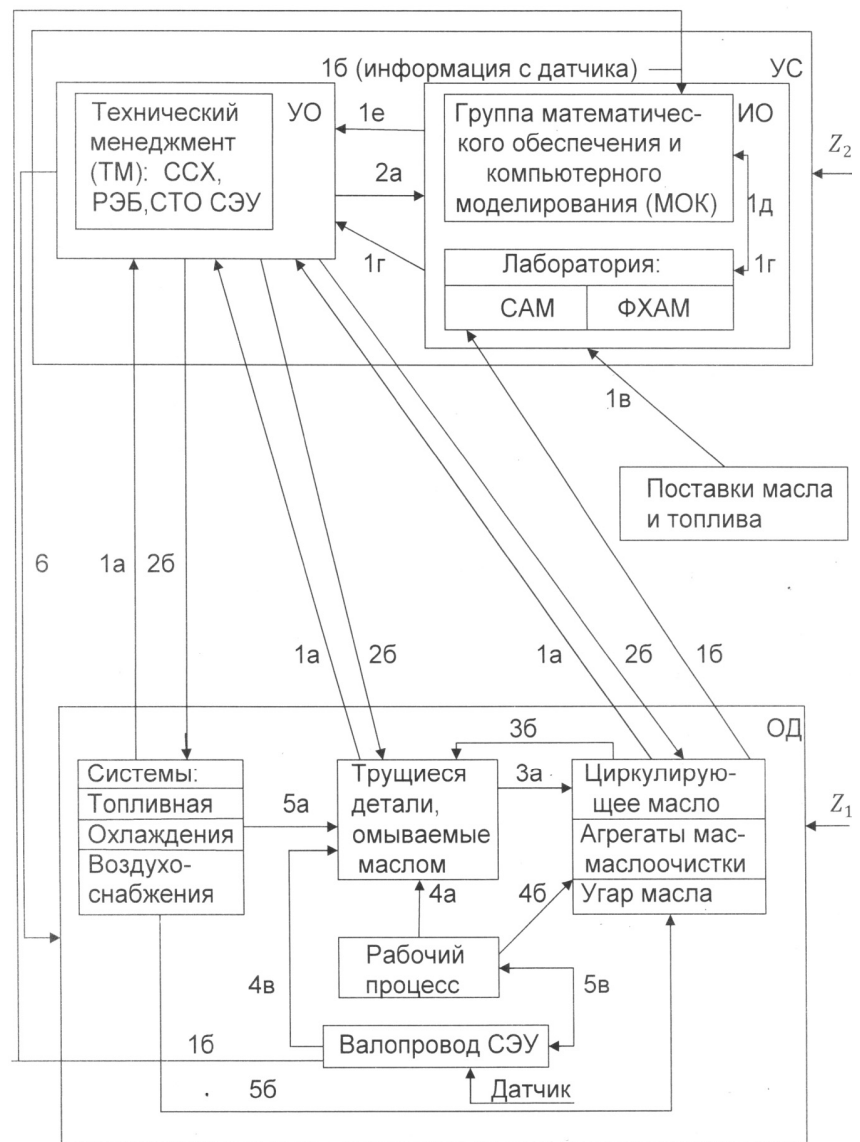


Рисунок – Обобщенная диагностическая модель комплекса «Дизельная СЭУ-ТЭФ речного пароходства»

цессы, происходящие на поверхности и в объёме материала деталей, вследствие длительности воздействия циклических напряжений. Такой процесс идёт без видимых признаков изменения свойств материала и приводит деталь к конечному предельному состоянию, которое характеризуется или поломкой, или появлением трещин недопустимых размеров.

Процессы изнашивания деталей, усталость материала являются в основном стохастическими с сопровождением множества различных факторов. Поэтому с позиции системного подхода к числу основных задач следует отнести выявление природы, характера, уровня, частотного состава, взаимосвязи вибрационных сигналов, а также выявление нелинейных свойств, основных резонансов, демпфирования, собственных форм колебаний и других характеристик колебательного процесса дизельной СЭУ при известном и неизвестном входном воздействии. Следовательно, расчётная оценка состояния и ресурса элементов может быть выполнена корректно лишь с привлечением математического моделирования перечисленных ранее динамических характеристик [6].

Техническое состояние судового дизеля характеризуется совокупностью подверженных изменению в процессе эксплуатации свойств элементов, входящих в состав его качества. Классификация состояний судовой техники (в том числе дизелей речного флота) подробно рассмотрена в работе [2]. Следуя такой классификации, для диагностирования состояния конкретных трущихся деталей дизеля условимся множество всех возможных состояний $\{D\}$ разделять на два подмножества:

- исправного состояния $\{D_1\}$;
- дефектного состояния $\{D_2\}$.

В соответствии с таким разделением при разработке алгоритма диагностирования будем предусматривать:

- формулировку условий разделения множества состояний $\{D\}$ на два подмножества $\{D_1\}$ и $\{D_2\}$;
- получение критериев для оценки состояний $\{D_1\}$ и $\{D_2\}$.

Проведённый теоретический анализ системы «дизель-масло-валопровод СЭУ» позволяет сделать следующие заключения и наметить пути дальнейших теоретических и экспериментальных исследований:

- объект диагностирования является сложной системой, поэтому модели диагностирования и прогнозирования можно получить в виде статистических закономерностей, основанных на большом опытном материале;
- исходя из принципов системного анализа, без серьёзной необходимости, нет смысла вникать в физику процессов, протекающих в изучаемом комплексе. Для моделирования алгоритмов диагностирования и прогнозирования достаточно положения основной предельной теоремы теории вероятностей – закона больших чисел. При этом, однако, следует иметь в виду исходные физические предпосылки того или иного закона распределения, предполагающего конечную дисперсию исследуемых факторов и достаточную представительность статистических выборок;
- в соответствии с принципами системного анализа необходимо создавать корректируемые (обучающиеся) алгоритмы диагностирования, которые позволят быстро оптимизировать диагностические нормативы и критерии на основе вновь поступающих данных в связи с изменившимися условиями функционирования элементов комплекса или его структуры;
- принимая во внимание один из главных принципов системного подхода – комплексность изучения сложных систем, построение алгоритмов диагностирования необходимо осуществлять на основе возможно большего количества информации о состоянии ОД, поступающей с работающим маслом и другими измерительными устройствами, включаемыми в систему диагностирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шеромов, Л.А. Принципы построения систем диагностирования судовых дизелей с применением самообучающихся алгоритмов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. / Шеромов Лев Александрович. -Л., 1991. -47 с.
- 2 Васильев, Б.В. Диагностирование технического состояния судовых дизелей / Б.В. Васильев, Д.И. Кофман, С.Г. Эренбург. -М.: Транспорт, 1982. -144 с.
- 3 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.
- 4 Викулов, С.В. Торсиографическая оценка технического состояния силиконового демпфера валопровода СЭУ /

С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 140-141.

5 Агуреев, А.Г. Крутильные колебания и надёжность судовых валопроводов / А.Г. Агуреев, Ю.С. Баршай. -М.: Транспорт, 1982. -112 с.

6 Глушков, С.С. Математическое моделирование динамических характеристик судовых валопроводов: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05 / Глушков Сергей Сергеевич ; ФГОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. вод. трансп.». -Новосибирск: НГАВТ, 2009. -167 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: системный анализ, диагностическая модель, техническое состояние, судовая энергетическая установка, техническая эксплуатация флота

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Шеромов Лев Александрович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

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

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ОБОЛОЧЕК

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.М. Барановский, Л.В. Пахомова

NONLINEAR DEFORMATION OF SHELLS

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.M. Baranovskij, L.V. Pahomova

It is shown that the large deformation does not follow Hooke's law. This phenomenon is not related to changes in the elastic modulus, and arises as a geometric phenomenon.

Keywords: strain, Hooke's law

Показано, что большие деформации не следуют закону Гука. Это явление не связано с изменением модуля упругости, а возникает как геометрический феномен.

Деформация упругого тела подчиняется закону Гука в том случае, когда размеры тела не меняются или меняются несущественно. Фактически это справедливо для весьма прочных материалов применяемых во множестве конструкций. Для материалов с низким модулем упругости закон Гука нарушается в большей или меньшей степени.

В качестве примера рассмотрим двумерную и трехмерную задачу о деформации оболочки. Пусть длинная цилиндрическая оболочка, закрепленная по торцам, испытывает внутреннее давление. Предположим, что деформация материала (рисунок 1) происходит без изменения его объема. Это условие легко выполняется для полимеров с низким модулем упругости.

Рассмотрим глубокие деформации при растяжении прямоугольного фрагмента оболочки. Зададим постоянный объем оболочки через её размер и толщину

$$V = \delta L^2 .$$

Толщина оболочки равна

$$\delta = \frac{V}{L^2} .$$

Дифференциал силы действующей при растяжении оболочки можно найти из предпосылки о падающем характере силы. Это подтверждается экспериментами с растяжением резиновых нитей, которые нарушают закон пропорциональности напряжений и деформаций.

$$dF = -d\sigma \delta L = -d\sigma \frac{V}{L} .$$

Допустим, также, что в бесконечно малых деформациях закон Гука сохраняется со своим локальным модулем упругости. После подстановки получим

$$dF = -\frac{dL}{L} E \frac{V}{L} = -\frac{EV}{L^2} dL .$$

Интегрируя уравнение, имеем зависимость растягивающего усилия от размера оболочки

$$F = EV/L .$$

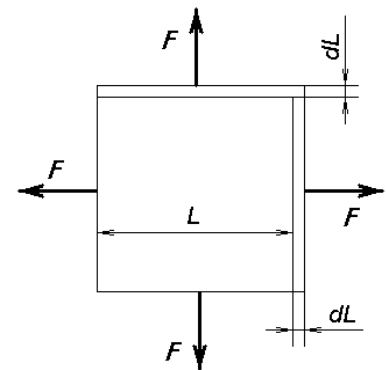


Рисунок 1 – Плоская деформация тонкой оболочки

Рассмотрим большие деформации тонкой цилиндрической оболочки вращения (рисунок 2).

Из условия равновесия, и в соответствии с законом Паскаля, давление в оболочке связано с напряжением в стенке

$$P = \sigma \frac{\delta}{r}.$$

Толщина стенки при заданном объеме материала равна

$$\delta = \frac{V}{2\pi r L}.$$

Задавая относительную деформацию через дифференциал радиуса, получим дифференциал давления

$$dP = -\frac{dr}{r} \frac{EV}{2\pi r^2 L}.$$

Давление в цилиндрической оболочке

$$P = \frac{EV}{\pi r^2 L}.$$

Рассмотрим большие деформации тонкой сферической оболочки с заданным объемом материала

$$V = 4\pi r^2 \delta.$$

Внутреннее давление в оболочке

$$P = \frac{2\sigma V}{4\pi r^3}.$$

Задавая относительную деформацию через дифференциал радиуса, получим дифференциал давления в следующем виде

$$dP = -\frac{VE}{2\pi r^4} dr.$$

Давление в сферической оболочке

$$P = \frac{3VE}{2r^3}.$$

Проведенное исследование (рисунок 3) показало, что большие деформации не следуют закону Гука. Это явление не связано с изменением модуля упругости, а возникает как геометрический феномен. Практически все материалы с низким модулем упругости, например, полимеры и биологические ткани деформируются с нарушением коэффициента пропорциональности между силой и деформацией. Для этого деформации должны быть настолько большими, чтобы изменилась структура молекул из спирали в нить.

С точки зрения виброизоляции конструкции, рассмотренные ранее, являются упругими нелинейными элементами. Для определения собственной частоты колебаний можно использовать множество методов, но в любом случае частота будет зависеть от давления.

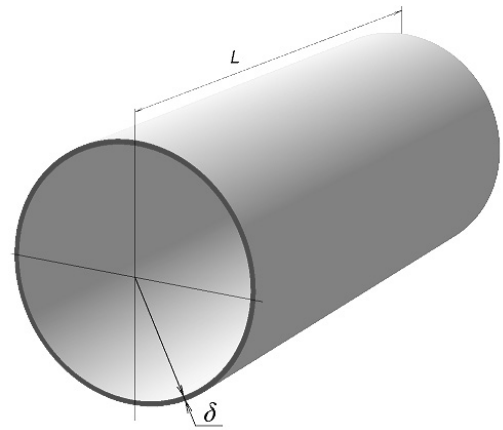


Рисунок 2 – Тонкая цилиндрическая оболочка

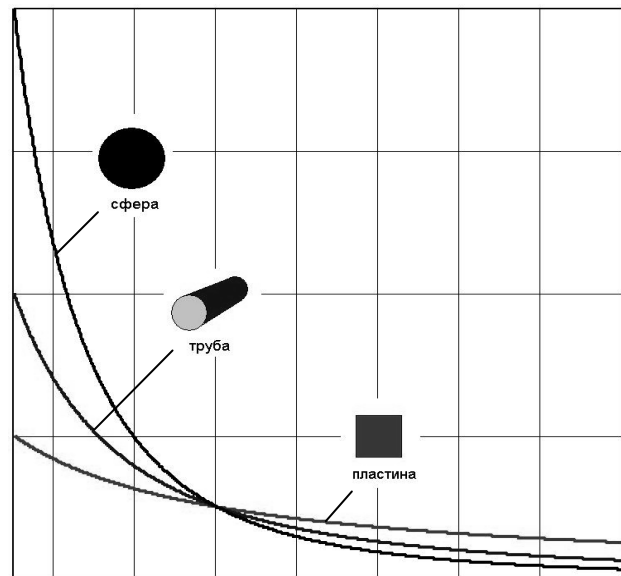


Рисунок 3 – Зависимость давления от размера и формы

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: деформация, закон Гука

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Барановский Александр Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Пахомова Людмила Владимировна, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»

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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА КАРТЕРНОГО МАСЛА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов, Л.А. Шеромов

MATHEMATICAL MODEL OF DIAGNOSIS ALGORITHM VESSELS IN DIESEL ENGINES ON BASIS OF SPECTRAL ANALYSIS
CRANKCASE OIL
«Novosibirsk state academy of water transport»
S.V. Vikulov, L.A. Sheromov

The basic theoretical principles of effective use of available information in the functioning of the algorithm of diagnosis.

Keywords: mathematical model, technical diagnostics

Рассмотрены основные теоретические положения эффективного использования имеющейся информации при функционировании разработанного алгоритма диагностирования.

Техническая диагностика является одним из эффективных путей повышения надежности, долговечности и экономичности эксплуатируемых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) различного назначения.

Анализ математических моделей алгоритмов диагностирования основных трущихся деталей ДВС по параметрам масла показывает, что они выстраиваются в некоторую естественную иерархию. Во-первых, начиная с менее или более глубокого изучения физических основ протекающих в машине процессов и разработки методик получения информации о техническом состоянии трущихся деталей, основанных на методах классического детерминизма. Во-вторых, до попыток построения обобщенных стохастических закономерностей, основанных на методах теории информации, системного анализа и технической кибернетики [1-8]. Разработанная нами математическая модель алгоритма диагностирования судовых дизелей на основе спектрального анализа картерного масла относится к моделям второго рода [2-4].

В настоящей статье рассматриваются основные теоретические положения эффективного использования имеющейся информации при функционировании разработанного алгоритма диагностирования, моделирование которого осуществлено в два этапа.

На первом этапе, путем введения «зоны неопределенности», рассматривалась задача нахождения предельных K_{jnp} и допустимых $K_{jдон}$ нормативных значений величин основного j -го параметра K , позволяющих с установленными вероятностями ошибок первого α_{ycm} «ложная тревога» и второго β_{ycm} «пропуск дефекта» рода принять однозначное решение соответственно о дефектном или исправном состоянии диагностируемого объекта дизеля. Рисунок, на котором показаны распределения вероятностей ошибок принятия решений по концентрации железа в работающем масле М10В2 судового дизеля 6ЧРН36/45, иллюстрирует первый этап моделирования алгоритма диагностирования. Правило решения при этом будет следующим:

$$K_j \leq K_{дон}, K_j \in D_1; K_j \geq K_{np}, K_j \in D_2; K_{дон} < K_j < K_{np} - \text{отказ от распознавания} \quad (1)$$

На втором этапе – задача разрешения «зоны неопределенности» с использованием комплекса дополнительных диагностических параметров на основе статистического последовательного анализа А. Вальда. Решающее правило метода последовательного анализа выражается следующими соотношениями:

$$\frac{P(K^* / D_1)}{P(K^* / D_2)} \geq A; K^* \in D_1; \frac{P(K^* / D_1)}{P(K^* / D_2)} \leq B; K^* \in D_2;$$

$$B < \frac{P(K^* / D_1)}{P(K^* / D_2)} < A - \text{отказ от распознавания}, \quad (2)$$

где $P(K^* / D_1), P(K^* / D_2)$ – условная плотность распределения вероятностей комплекса значений диагностических параметров соответственно при исправном D_1 и дефект-

ном D_2 состоянии объекта;

- A – избираемый порог различных уровней для суждения о наличии исправного состояния D_1 ;
- B – то же, для суждения о наличии дефектного состояния D_2 .

Диагностическая ценность параметра определяется информацией, которая вносится им в систему состояний [1]. Условимся считать частной диагностической ценностью обследования по j -му параметру K для состояния D_j величину информации, вносимую всеми реализациями параметра в установление этого состояния. Частная диагностическая ценность вычисляется по формуле

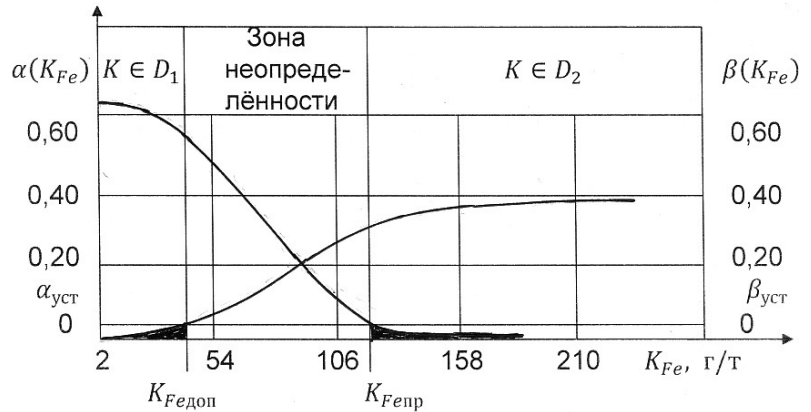


Рисунок – Распределение вероятностей ошибок диагноза по K_{Fe} для различных состояний дизеля: 1-исправного D_1 ; 2-дефектного D_2

$$Z_{D_1}(K_j) = \sum_{s=1}^M P(K_{js}/D_1) \log_2 \frac{P(K_{js}/D_1)}{P(K_{js})}; \quad (3)$$

$$Z_{D_2}(K_j) = \sum_{s=1}^M P(K_{js}/D_2) \log_2 \frac{P(K_{js}/D_2)}{P(K_{js})}, \quad (4)$$

где $P(K_{js}/D_1), P(K_{js}/D_2)$ – условная вероятность наличия j -го параметра K в S -ом интервале значений соответственно для исправного D_1 и дефектного D_2 состояний дизеля;

$P(K_{js})$ – полная вероятность наличия j -го параметра K в S -ом интервале его значений для всей системы состояний D дизеля;

M – число интервалов S величин j -го параметра K .

Общая диагностическая ценность определится как количество информации, вносимой обследованием в систему состояний:

$$Z_D(K_j) = P(D_1)Z_{D_1}(K_j) + P(D_2)Z_{D_2}(K_j), \quad (5)$$

где $P(D_1), P(D_2)$ – соответственно априорные вероятности исправного и дефектного D_2 состояний дизеля.

В общем случае с увеличением числа интервалов разбиения массива экспериментальных данных диагностическая ценность параметра возрастает или остаётся прежней, но анализ результатов при этом становится более трудоёмким. С учётом этого, выражения (3)-(5) можно использовать не только для количественной оценки информативности K_j -го параметра, но и для выбора оптимального числа M_{opt} разбиений величин K_j параметра на статистические интервалы.

Анализ результатов проведенного нами численного эксперимента выявил общий экспоненциально-возрастающий характер изменения величин $Z_{D_1}(K_j), Z_{D_2}(K_j)$ и $Z_D(K_j)$ в зависимости от различного числа M разбиений их значений на равномерные интервалы [3, 4]. Ввиду того, что достоверность вероятностей интервалов параметров определяется представительностью статистической выборки, которая обусловлена величиной общего диапазона и степенью приближения статистического распределения к теоретическому распределению, при переходе от интервала к интервалу имеет место также разброс величин в сторону их уменьшения в сравнении с диагностической ценностью на предыдущем интервале $Z_D(K_j)^{(M-1)}$. Для определения оптимального числа интервалов и, следовательно, оптимальной диагностической ценности параметров опытные точки были аппроксимировались экспо-

нентой вида

$$Z_D(K_j) = a \{1 - \exp[-b(M-1)]\}, \quad (6)$$

где a, b – коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов путём преобразования уравнения (6) к уравнению вида $f(x) = 0$ и решения его методом последовательных приближений при заданной точности $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-6}$ с использованием способа простого перебора;

M – целое число разбиений на интервалы, $M = 1, \dots, H_j$.

Далее подсчитывались:

– среднее квадратичное отклонение экспериментальных величин $Z_D(K_j)_\vartheta^{(M)}$ от теоретических $Z_D(K_j)^{(M)}$, вычисляемых по экспоненте

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{M=1}^{H_j} [Z_D(K_j)_\vartheta^{(M)} - Z_D(K_j)^{(M)}]^2}{H_j - 1}}, \quad (7)$$

– средняя ошибка аппроксимации

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{H_j}}, \quad (8)$$

– средняя относительная ошибка (точность) аппроксимации

$$\delta = \frac{\sigma_0}{\bar{Z}_D(K_j)^{(M)}} 100\%, \quad (9)$$

где $\bar{Z}_D(K_j)^{(M)}$ – средняя арифметическая величина диагностической ценности

$$\bar{Z}_D(K_j)^{(M)} = \frac{\sum_{M=1}^{H_j} Z_D(K_j)^{(M)}}{H_j}. \quad (10)$$

Исходя из гипотезы нормального закона распределения отклонений опытных точек от теоретической кривой (6), при уровне доверительной вероятности $P = 0,95$ устанавливался доверительный интервал средней ошибки аппроксимации

$$\mu = \pm t_p \cdot \sigma_0, \quad (11)$$

где t_p – критерий Стьюдента.

Определение оптимального числа интервалов M_{opt} производится итерационным методом путём сравнения приращения расчётных величин диагностической ценности двух смежных интервалов с величиной доверительного интервала средней ошибки аппроксимации

$$\left| Z_D(K_j)^{(M-1)} - Z_D(K_j)^{(M)} \right| \leq t_p \cdot \sigma_0. \quad (12)$$

Итерационный процесс вычислений продолжается до тех пор, пока $Z_D(K_j)^{(M)}$ не будет отличаться от $Z_D(K_j)^{(M-1)}$ на величину μ или не будет осуществлён перебор всех интервалов $M = 1, \dots, H_j$.

Решающее правило (2) соответствует однородному комплексу диагностических параметров, а в наших исследованиях используются параметры различной физической природы. Более того, это правило не учитывает диагностическую ценность, величина которой различна для различных параметров и диагнозов. Поэтому представляется целесообразным в решающее правило (2) ввести весовые коэффициенты δ_{ij} которые учитывают диагностическую ценность и дисперсию K_j параметра для различных D_i состояний контролируемых деталей дизеля:

$$\delta_{1j} = \frac{Z_{D_1}(K_j)}{\sigma_{1j}}; \quad \delta_{2j} = \frac{Z_{D_2}(K_j)}{\sigma_{2j}}; \quad \delta_j = \frac{\delta_{1j}}{\delta_{2j}}, \quad (13)$$

где σ_{j1}, σ_{j2} – среднее квадратичное отклонение K_j параметра соответственно исправного и дефектного состояний объекта.

Тогда закон распределения отношений плотности условных вероятностей результирующего состояния в выражении (2) задается как произведение частных законов распределений плотности вероятностей (отношений правдоподобий) параметров

$$\frac{P(K^*/D_1)}{P(K^*/D_2)} = \prod_{j=1}^m \frac{\delta_{1j} P(K_{jS}/D_1)}{\delta_{2j} P(K_{jS}/D_2)} = \prod_{j=1}^m \delta_j \lambda_{jS} = \prod_{j=1}^m \Lambda_{jS}, \quad (14)$$

где Λ_{jS} – приведенное отношение правдоподобий K_j параметра для S -го интервала его значений,

$$\Lambda_{jS} = \delta_j \lambda_{jS}.$$

По результатам оптимизации диагностической информации в порядке убывания диагностической ценности параметров формируется диагностическая матрица, обеспечивающая более эффективное использование обучающегося алгоритма диагностирования [3, 4]. Процесс обучения заключается в периодической корректировке предельных и допустимых нормативов (см. рисунок) по мере поступления новой информации, ее оптимизации и формировании диагностической матрицы, служащей информационной базой для принятия решений о состоянии объекта при нахождении значений основного диагностического параметра в «зоне неопределенности».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Биргер, И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. -М.: Машиностроение, 1978. -240 с.
- 2 Викулов, С.В. Внедрение безразборной диагностики дизелей / С.В. Викулов, Н.М. Учкин, Л.А. Шеромов // Реч. трансп. - 1982. -№10. -С. 32-33.
- 3 Викулов, С.В. Оптимизация алгоритма диагностирования / С.В. Викулов, Л.А. Шеромов // Повышение эффективности технической эксплуатации судовых энергетических установок: труды / Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1983. -С. 68-77.
- 4 Викулов, С.В. Оценка и анализ технического состояния главных дизелей речных судов по параметрам смазочного масла: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.В. Викулов. -Одесса: ОИИМФ, 1985. -19 с.
- 5 Викулов, С.В. Прогнозирование остаточного ресурса деталей ЦПГ судового дизеля по общей загрязненности масла / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 292-294.
- 6 Гринцевич, В.И. Исследование диагностики автомобильных двигателей по параметрам картерного масла: дис. ... канд. техн. наук / В.И. Гринцевич. -М.: МАДИ, 1971. -203 с.
- 7 Надежкин, А.В. Мониторинг работающего моторного масла в системе обеспечения безопасной ресурсосберегающей эксплуатации судовых дизелей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.В. Надежкин. -Владивосток: МГУ, 2011. -42 с.
- 8 Чанкин, В.В. Методы оценки состояния тепловозных дизелей без их разборки с применением экспрессного спектрального анализа масел: дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Чанкин. -М., 1972. -299 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *математическая модель, техническая диагностика*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
Шеромов Лев Александрович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

НЕМНОГО О ФЛАТТЕРЕ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.К. Зуев

ABOUT FLUTTER

«Novosibirsk state academy of water transport»
 A.K. Zuev

We consider the hypothesis allows to apply the theory of negative stiffness to various mechanical systems and physical phenomena.

Keywords: multiplikator compensator stiffness, negative stiffness, flutter

Рассмотрена гипотеза позволяющая применить теорию об отрицательной жесткости к различным механическим системам и физическим явлениям.

Во всем мире падают крытые стадионы и рынки, «танцуют» мосты и разламываются суда. Недавно на телеканале Россия было рассказано о случае разрушения носовой части фюзеляжа военного самолета. Со времен академика М.В. Келдыша подобные явления называют флаттером, и поведение объектов в этих условиях представляется нам непредсказуемым. Профессором А.М. Барановским в 1983 году был обнаружен эффект упругой мультипликации компенсаторов жесткости.

Это открытие позволило решить многолетнюю проблему создания компенсатора жест-

кости с огромной отрицательной жесткостью. Ведь суммарная жесткость подвески судового двигателя внутреннего сгорания должна быть снижена до нулевых значений (согласно теории идеальной виброизоляции) [1]. Огромная, даже бесконечно большая отрицательная жесткость, может быть получена без каких либо усложнений конструкции компенсатора жесткости. Ведь если жесткость упругого элемента, установленного последовательно к компенсатору жесткости, по модулю стремится к модулю отрицательной жесткости компенсатора, то результирующая отрицательная жесткость этой конструкции стремится к бесконечно большой отрицательной жесткости.

Изложенное выше имеет прямое отношение к понятию флаттер. Ведь бесконечно большая отрицательная жесткость, любого объекта, (устройства), это неограниченный выброс потенциальной, или кинетической энергии. В примере с оторванной носовой частью фюзеляжа самолета можно убедительно показать последовательность разрушения фюзеляжа даже без расчетов. С точки зрения теории идеальной виброизоляции, набегающий поток воздуха это «устройство с отрицательной жесткостью». О плавном и равномерном набегающем потоке воздуха на носовую часть самолета не может быть и речи, тем более, если «шевелить» рулями управления. В виброизолирующих механизмах поведение компенсатора жесткости предсказуемо и строго ограничено порцией потенциальной энергии, накопленной в упругих элементах компенсатора жесткости. В рассматриваемом случае количество кинетической энергии воздуха ничем не ограничено. Другими словами, модуль отрицательной жесткости «новоявленного компенсатора» жесткости практически непредсказуем и энергия, выделяемая им для деформации фюзеляжа ничем неограниченна. Если носовую часть фюзеляжа не оторвало при первом изгибе носовой части фюзеляжа, то значит жесткость этого «воздушного компенсатора» жесткости не превысила по модулю жесткость на изгиб носовой части фюзеляжа. Он накопил потенциальную энергию при изгибе фюзеляжа и начал выпрямляться. Потенциальная энергия изгиба переходит в кинетическую и когда изгибная деформация фюзеляжа исчезла, кинетическая энергия масс фюзеляжа отклоняет носовую часть фюзеляжа в другую сторону. Скорость пробегания равновесного положения, (как и в обычном маятнике), максимальная, а вот жесткость воздушного компенсатора жесткости, согласно открытию профессора А.М. Барановского [2], стремится по модулю к жесткости фюзеляжа, следовательно, коэффициент мультипликации стремится к бесконечности, даже если бы эта скорость пробегания была бы равна нулю. В упомянутом выше равновесном положении фюзеляжа за счет скорости пробегания равновесного положения, отрицательная жесткость уже многократно превышает, по модулю, положительную жесткость фюзеляжа при изгибе и практически стремится к минус бесконечности.

Из высказанного здесь ясно, что процесс разрушения не растянут во времени. Он принимает характер взрыва. Ведь частота собственных колебаний носовой части фюзеляжа при изгибе на два три порядка выше частоты собственных колебаний, например, мостовой фермы и число циклов колебаний до разрушения – считанные единицы.

В заключении можно утверждать, что флаттер выступает в роли пружинного мультипликатора профессора А.М. Барановского. Это первый за сто лет со времён А.М. Ляпунова значительный шаг в познании колебаний сложных механических систем с нулевой и отрицательной жесткостью. Разнообразии таких систем бесконечно и явление под названием флаттер бесконечно многолико, начиная с крытых стадионов с частотами собственных колебаний в сотые доли герц, и заканчивая кавитацией и бронебойными снарядами с частотами в миллиарды герц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зуев, А.К. Теория виброизоляции / А.К. Зуев // Виброизоляция механизмов и машин: тр. Новосиб. ин-та инженеров вод трансп. -Новосибирск, 1984. -С. 14-23.
 2 Барановский, А.М. Объемные корректоры виброизолирующих подвесок судовых ДВС: дис.канд. техн. наук / А.М. Барановский; Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Л., 1988. -166 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мультипликатор компенсатора жесткости, отрицательная жесткость, флаттер
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Зуев Анатолий Кузьмич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ЗАЩИТА КОРПУСА ОТ СТРУКТУРНОЙ ВИБРАЦИИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.М. Барановский, М.А. Федосеева

PROTECTION OF BUILDINGS STRUCTURAL VIBRATION
«Novosibirsk state academy of water transport»
A.M. Baranovskij, M.A. Fedoseeva

It is shown that relying on the collective elastic elements can be regarded as ideal elastic device with negligible friction.

Keywords: mounts, resilient element

Показано, что опоры на основе коллективных упругих элементов можно рассматривать как идеальные упругие устройства с пренебрежимо малым трением.

Внутренние силы передаются через раму судового дизеля, которая должна быть достаточно прочной и жесткой. Здесь не должно быть развитых резонансных колебаний, поскольку это могло бы привести к разрушению элементов рамы. Для шумоизоляции корпуса судна от колебаний остова дизеля интересен вопрос о наименьшей частоте свободных колебаний. Скорость упругих волн оценивается по формуле Ньютона

$$c = \sqrt{E/\rho}. \quad (1)$$

Предположим, что модуль упругости изотропной конструкции пропорционален её заполнению и модулю упругости сплошного материала. Допустим также, что плотность обратно пропорциональна заполнению конструкции, тогда скорость упругих волн принимает вид

$$c = \sqrt{\frac{1-\mu}{(1-2\mu)(1+\mu)^2}}. \quad (2)$$

Анализ, подтвержденный рядом исследований [1], показал, что современные двигатели являются жесткими для низких частот судовой вибрации. Модель дизеля как твердого тела особенно пригодна в случае его установки на виброизоляторы, поскольку в этом случае собственные частоты колебаний на виброизоляторах снижаются и существенно удаляются от собственных частот дизеля как упругого тела.

Механическое движение и колебания дизеля, определяются его массой, моментами инерции и внешними силами, которые могут зависеть от времени, положения и скорости точек дизеля. Это справедливо в случае классической модели с упругими линейными элементами и вязким линейным трением.

Динамические характеристики виброизоляторов. Основной вклад в передачу вибрации на судовой фундамент, в области частот судовой вибрации (1,4-90 Гц) определяют силы упругости. С повышением частоты (90-11000 Гц) роль упругих сил убывает, и существенный вклад дают силы инерции, которые проявляются на частотах собственных колебаний виброизоляторов.

Стандартные виброизоляторы универсальны, общей чертой стандартных опор можно назвать резонансную собственную частоту колебаний установленного оборудования по отношению к диапазону судовой вибрации.

Основные характеристики виброизоляторов определяются стандартами [4] по пяти параметрам:

- диапазон статической нагрузки;
- статическая характеристика;
- динамическая жесткость;
- характеристика демпфирования (коэффициент поглощения);
- минимальная внутренняя собственная частота.

Для определения этих параметров стандартом предусмотрены семь видов измерений. Статический диапазон виброизолятора определяют от минимальной нагрузки, с которой начинает работать упругий элемент до максимальной нагрузки, при которой напряжения достигают допустимой величины.

Построение статической характеристики виброизолятора согласно стандарту проводится по трём точкам. Все виброизоляторы без исключения в широком диапазоне нагрузок об-

наруживают линейную зависимость $F(x)$, что объясняется законом Гука. Разумеется, это не исключает петли на характеристике от сил внутреннего или внешнего трения или от упругого последствия.

Динамическая жёсткость определяется в трёх направлениях, со статической нагрузкой 65 и 100%, приложенной в главном направлении. Вынуждающая сила должна иметь частоту от 10 до 30 Гц; амплитуда должна составлять 5-10% от статической просадки. Динамическая жёсткость определена стандартом

$$C_{din} = \frac{A_F}{A_S} \cos \Delta\varphi, \quad (3)$$

где A_F – амплитуда динамической силы, Н;

A_S – амплитуда виброперемещения, м;

$\Delta\varphi$ – разность фаз силы и перемещения, рад.

Характеристика демпфирования определяется по ГОСТ 24346-80 путём построения зависимости диссипативной силы от амплитуды виброскорости. Диссипативная сила равна

$$F_D = F_a \sin \Delta\varphi. \quad (3)$$

Амплитуда виброскорости равна

$$v_a = \omega \cdot S_a. \quad (4)$$

Минимальная собственная внутренняя частота определяется при 65% нагрузке в двух-массовой системе, где виброизолятор является упругим элементом, при этом собственная частота системы должна быть в три и более раз ниже предполагаемой внутренней частоты. Плавно повышая частоту возбуждения, находят первый максимум ускорения масс и считают её минимальной внутренней собственной частотой.

Как видно из стандарта внутренняя собственная частота практически всегда попадает в диапазон судового шума. Фактически звуковые волны от двигателя попадают на судовой фундамент и в зависимости от импеданса опорной поверхности вызывают её колебания. Известный метод повышения комплексного сопротивления фундамента в судостроении состоит в установке виброзадерживающих масс и в повышении толщины полки фундамента до 25 мм. Из-за высокой жесткости виброизоляторов такой метод не всегда дает желаемый результат.

Относительно недавно [86] был получен результат повышения эффективности шумоизоляции за счет использования упругих элементов с распределенными параметрами.

В резиновых массивах, как известно, имеет место поперечное расширение, сохраняющее объём. Это более заметно, когда относительная высота виброизолятора меньше. Отношение ширины к высоте резиноталлических опор может достигать пяти-восьми. Скорость поперечной деформации в два-четыре раза выше, чем скорость продольной деформации, а кинетическая энергия и силы инерции промежуточной массы возрастают в десятки раз. Большинство упругих элементов из массивных эластомеров деформируются без изменения объема. Это приводит к появлению внешних областей с повышенными скоростями деформации и увеличению динамической жесткости более чем вдвое.

На частотах ниже первой внутренней частоты для металлических пружин характерно отсутствие поперечных деформаций и линейная зависимость передаваемого усилия от деформации.

Принцип работы группы элементов состоит в том, что резонансные колебания на заданной частоте возникают не во всех элементах опоры, а только в некоторой части. Другие группы элементов по параметрам далеки от резонанса и фаза их колебаний совпадает или противоположна. Силы упругих элементов частично или полностью уравниваются, а энергия колебаний рассеивается.

В сравнении с обычным упругим элементом распределенный элемент содержит множество легких пружин, для которых фундамент является существенным сопротивлением. В обычном упругом элементе внутренние колебания передаются на основание. Масса распределенных элементов меньше, чем у традиционных опор за счет уменьшения осевого размера.

Сжатые пружины малой высоты существенно менее жесткие в поперечном направлении за счет проявления эффекта маятниковой жесткости.

Динамическое усилие, передаваемое основанию складывается из силы в упругой связи sx и силы вязкого трения $a\dot{x}$

$$R = cx + a\dot{x} . \quad (5)$$

Коэффициент виброизоляции определим по известной формуле [2]

$$\gamma = \frac{\sqrt{1 + \frac{4n^2\omega^2}{p^4}}}{\sqrt{\left(1 + \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4n^2\omega^2}{p^4}}} . \quad (6)$$

Примем $n = 0, \dots, 1,4$; $p = 4$

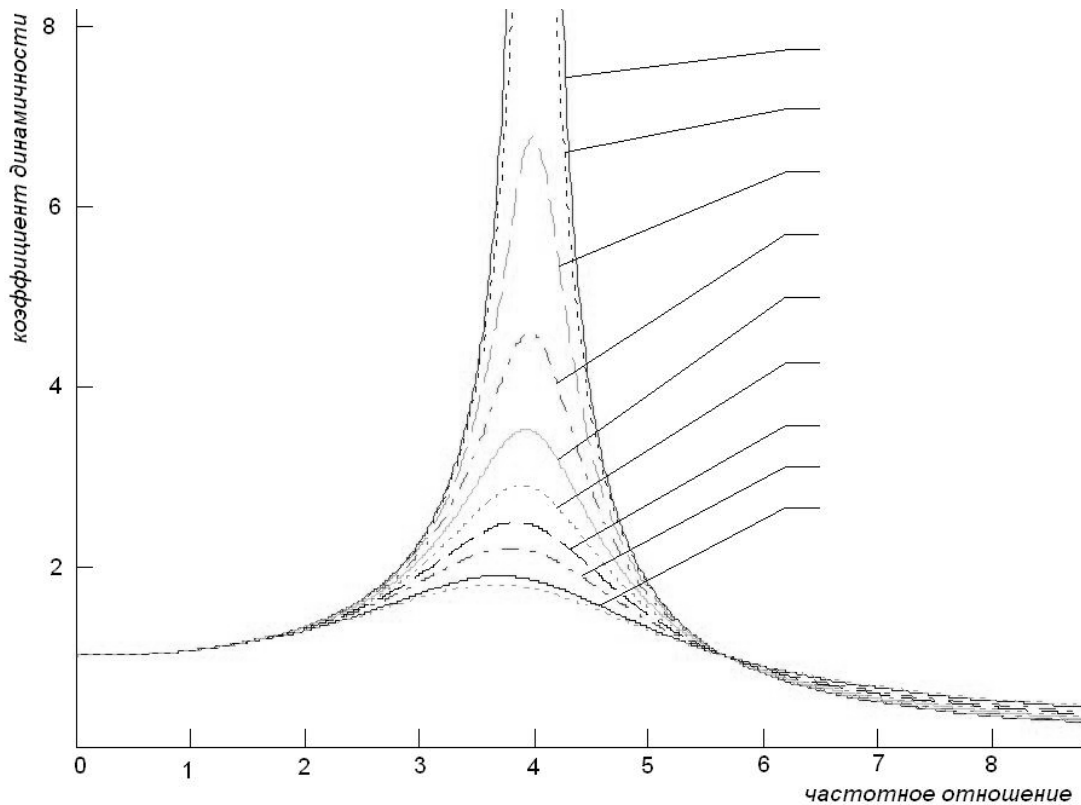


Рисунок – Амплитуды силы на основании при различном трении

Допустим, что энергия колебания переходит в тепло, тогда эффективность шумоизоляции пропорциональна рассеиванию энергии в масле.

Вычислим энергию, как скорость колебаний, умноженную на вязкую силу опоры, скорость колебаний примем постоянной во всем диапазоне частот.

Согласно данным, приведенным в работе [1], вибрацию корпуса по ускорению примем равную 100 Дб, при частоте 63 Гц, ускорение $a = 30 \text{ м/с}^2$, частота $\omega = 400 \text{ с}^{-1}$, амплитуда колебаний $A = 0,0002 \text{ м}$. Отсюда скорость $v = A\omega = 0,08 \text{ м/с}$.

Вязкая сила опоры

$$\alpha\dot{x} = 10 \cdot 0,08 = 0,8 \text{ , Н} . \quad (7)$$

Проведенная оценка показывает, что опоры на основе коллективных упругих элементов можно рассматривать как идеальные упругие устройства с пренебрежимо малым трением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Барановский, А.М. Теоретические основы эффективной виброизоляции: дис. ... д-ра техн. наук: 05.08.05 / Барановский Александр Михайлович. -Новосибирск, 2000. -316 с.
- 2 Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний: учеб. для вузов / В.Л. Бидерман. -М.: Высш. шк., 1980. -408 с.: ил.
- 3 Бородинский, А.С. Снижение структурного шума в судовых помещениях / А.С. Бородинский, В.М. Спиридонов. -Л.: Судостроение, 1974. -220 с.
- 4 Гомзииков, Э.А. Проектирование противозвукового комплекса судов / Э.А. Гомзииков, Г.Д. Изак. -Л.: Судостроение, 1981. - 184 с.
- 5 Ключин, И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах / И.И. Ключин. -Л.: Судостроение, 1971. -416 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виброизолятор, упругий элемент

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Барановский Александр Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Федосеева Марина Александровна, ст. преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»

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

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ПОСТОЯННОГО УСИЛИЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.К. Зуев

APPLICATION OF THE PERMANENT FORCES

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.K. Zuev

Highlights the key provisions and the historical stages of development of the theory of zero stiffness vibroisolation suspensions.

Keywords: theory, the zero stiffness

Освещены основные положения и исторические этапы создания теории нулевой жесткости виброизолирующих подвесок.

Первые публикации, связанные с применением систем постоянного усилия к виброизоляции появились в 1954 году в журнале *Details of the Flexator*. Статья под названием *Constant-force Compression Springs* рассматривала пружины сжатия с отогнутыми концами. При определенной нагрузке эти пружины теряли устойчивость, и до момента потери устойчивости усилие приблизительно сохранялось. Некоторые научные идеи требуют времени для развития и этот случай как раз такой. За 20-25 лет количество публикаций по проблеме виброизоляции резко выросло и оформилось в понятный инженерам термин «нулевая жесткость». Характерные статьи этого периода *Vibration Isolators with Zero Stiffness* за сентябрь 1958 года и статья *Application of Constant Force Spring* за декабрь 1959 года. В отечественной науке школа виброизоляции на основе упругих элементов постоянного усилия развивалась в 60-е 80-е годы. Весомый вклад в изучение проблемы внесли такие ученые как Алабужев П.М., Гритчин А.А., Георгиади А.Г., Гернер И.И., Глушков С.П., Гросс В.Ю., Никифоров И.С., Юрьев Г.С., и др.

Предлагаемый вниманию читателей перевод статьи [1], имеет не только исторический, но и научный интерес, поскольку основные идеи, изложенные в ней, получили затем глубокое развитие. Некоторые из упругих систем основаны на сочетании рычагов и пружин, а другие на комбинации продольно сжатых балок. Они начинались с простых конструкций «сделанных на коленке» из резины и пластика. По мере накопления опыта мы перешли к практическому использованию систем постоянного усилия. Это существенно улучшило защитные свойства упаковки деликатных приборов от вибрации и открыло путь для улучшения промышленных виброизоляторов.

Упругие системы, обеспечивающие почти постоянную восстанавливающую силу при значительных деформациях, отлично поглощают удары и вибрацию во всех областях использования от самых тяжелых машин до самых малых точных инструментов. Существует три причины, по которым системы с постоянным усилием лучше таких же систем с почти линейной характеристикой:

Они поглощают заданное количество энергии с меньшей максимальной силой (ускорением, давлением) для заданного смещения (рисунок 1).

Если максимальная сила удара (или высота падения упаковки) превышает расчетное значение (когда выделяемая энергия больше рассеянной энергии), возрастание силы не будет заметным.

Они препятствуют возрастанию амплитуды при резонансе, как это бывает в линейных системах. Поскольку резонансная частота в системах постоянного усилия зависит от амплитуды. Однако как только амплитуда установилась, система работает в резонансе.

Наибольшая сила в системе с постоянным усилием намного меньше. Это значит пропорциональное снижение нагрузки или ускорения. Линейная характеристика свойственна

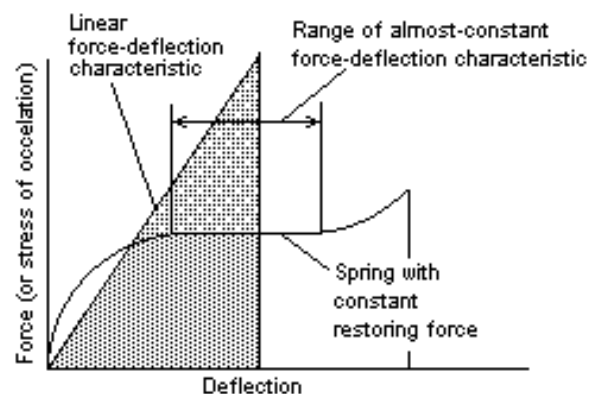


Рисунок 1 – Сравнение двух упругих систем, поглощающих одинаковое количество энергии

винтовым пружинам. Большинство материалов показывают линейную характеристику при малых деформациях. Понятие «упругая система» использованное здесь относится к материалам, которые комбинируются с рычагами или отрезаны или изогнуты в специальную форму для получения специальных упругих характеристик. Системы на основе изогнутых рычагов, в которых подходящие материалы или пружины сжимаются (растягиваются) между соединенными рычагами, изгибающимися под нагрузкой. Стержневые системы, сконструированные из профилей или изогнутые так, чтобы выпучиваться под нагрузкой.

Хотя мы разрабатывали и испытывали эти системы для ВВС (авиационное исследовательское и конструкторское бюро, WADD) в качестве упаковки для инструментов и компонентов самолетов и космических аппаратов, системы могут найти широкое применение в качестве виброизоляторов и ударных узлов в промышленности и других областях.

В данной статье показаны и исследованы всевозможные формы на основе изогнутых балок и стержней. Там где это возможно представлены уравнения; ограниченный объем статьи не позволил изложить результаты натурных испытаний.

Складные рычаги с линейными пружинами. Рычаги, которые складываются под силой можно объединить с линейными пружинами, для того чтобы получить постоянное усилие на части характеристики, рисунок 2.

Внешняя нагрузка P приложенная вертикально уравновешена двумя линейными пружинами: только сжатая пружина, K_2 (пружина сжатия) действует непосредственно; и пружина K_1 (пружина растяжения) действует через связи. Эти связи уменьшают эффективность силы K_1 противодействующей силе P при увеличении деформации пружины.

Если пружину K_2 удалить из системы, силовая характеристика системы будет иметь вид:

$$\frac{P}{k_1 L} = \left(1 - \frac{D}{\sqrt{D^2 + \frac{2y}{L} \sqrt{1-D^2} - \left(\frac{y}{L}\right)^2}} \right) \left(\sqrt{1-D^2} - \frac{y}{L} \right); \quad (1)$$

$$D = (b - a)/L;$$

где k_1 – жесткость пружины, фунтов/дюйм;

P – нагрузка, фунтов;

a – длина рамы, дюйм;

b – длина ненагруженной пружины K_1 , дюйм;

y – деформация ненагруженной системы, дюйм.

Если из системы удалить пружину K_1 , тогда нагрузка уравновешивается только сжатой пружиной K_2 . В этом случае силовая характеристика имеет вид

$$P = k_2 y. \quad (2)$$

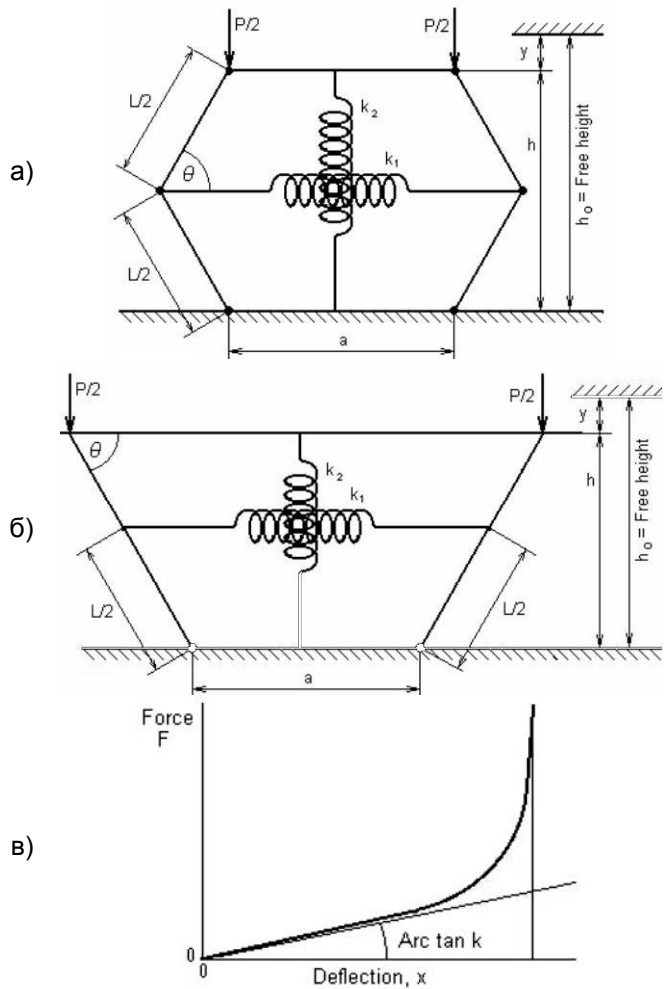


Рисунок 2 – Конструкция рычажной системы

Характеристика системы с двумя пружинами получается при сложении уравнений (1) и (2). Три вида силовых характеристик показаны на рисунке 3: точечная кривая построена по уравнению (1) для изогнутых балок с пружиной K_1 ; диагональная одиночная кривая построена по уравнению (2) для пружины K_2 ; сплошная кривая построена для обеих пружин при условии их равных жесткостей.

Кривые для пяти значений D показывают, что поведение систем с постоянным усилием весьма близко к линейному если предварительный натяг пружины K_1 равен нулю.

Рычажные системы с упругими вставками. Хотя многие пружины ведут себя линейно даже при больших деформациях (например, стальные винтовые пружины), большинство упругих материалов становятся жестче при возрастании напряжений. Резины и пластмассы в сплошном или вспененном состоянии показывают линейные свойства только при малых деформациях, а используются при весьма больших нагрузках и деформациях. Силовая характеристика для таких материалов предложена в работе R.D. Mindlin, («Dynamics of Package Cushioning», Bell Systems Journal 24, 553-461, July-Oct 1945)

$$F = \frac{2kx_m}{\pi} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi x}{2x_m} \right), \quad (3)$$

где k – начальный наклон силовой характеристики (см. рисунок 3);
 x_m – уровень деформации при резком возрастании силы.

Для изотропных материалов F можно трактовать как давление, а x как напряжение. Но при сдвиге (3) может проявиться анизотропия, как например, при деформации пивной бочки, тогда силовую характеристику можно рассматривать как универсальную.

Поскольку пример со сдвиговой упругостью показывает возрастающую скорость наклона силовой характеристики, а складные рычаги (только с пружиной K_2) имеют падающую характеристику, их сочетание дает относительно плоскую зависимость силы от деформации, рисунок 4а. Хотя на этом рисунке показана конструкция с рычагами направленными внутрь и сжатым материалом, такую же зависимость можно построить для рычагов складываемых наружу и с растянутым материалом.

В этом случае силовая характеристика имеет вид

$$F = \frac{2kx_m}{\pi} \frac{\sin \theta_0 - \frac{y}{L}}{\cos \theta_0 + \frac{x}{L}} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi x}{2x_m} \right); \quad (4)$$

$$\frac{x}{L} = -\cos \theta_0 + \sqrt{\cos^2 \theta_0 - (y/L)^2 + 2(y/L)\sin \theta_0}.$$

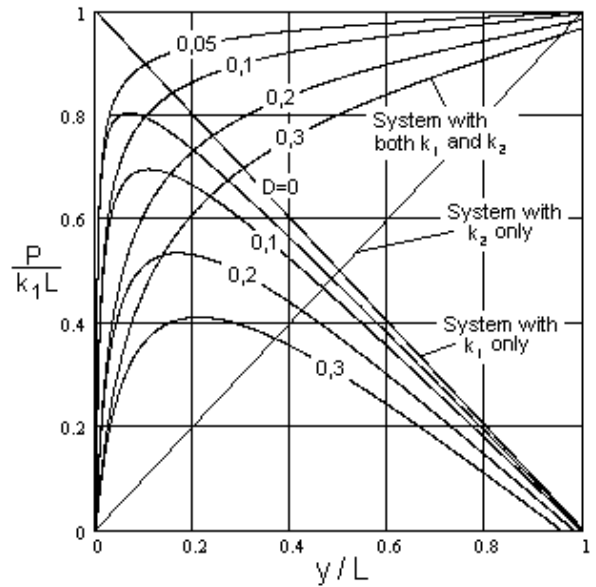


Рисунок 3 – Силовые характеристики при различных натягах

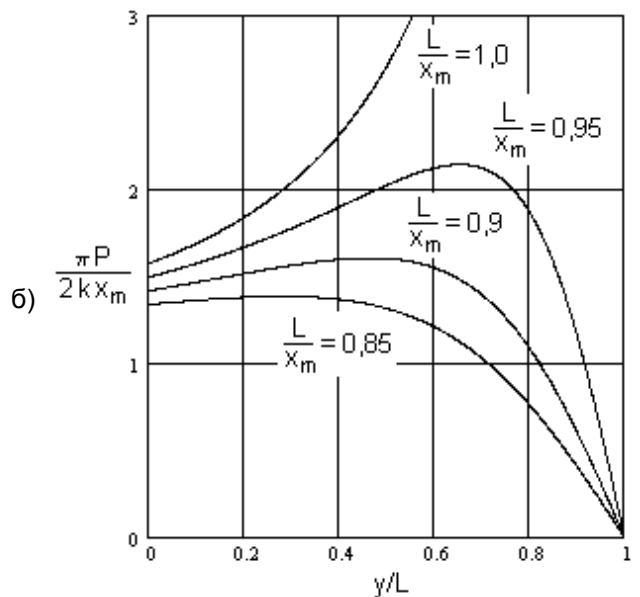
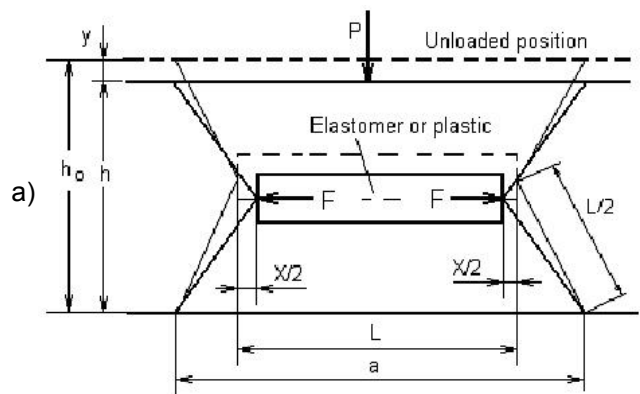


Рисунок 4 – Конструкция (а) и силовая характеристика (б)

Положение с углом $\theta_o \cong 90^\circ$ дает наилучшие результаты. Для $\cos \theta_o = 0$, $\sin \theta_o = 1$. Уравнение упрощается

$$P = \frac{2Kx_m \left(1 - \frac{y}{L}\right)}{\pi \sqrt{\frac{y}{L} \left(2 - \frac{y}{L}\right)}} \operatorname{tg} \left[\frac{\pi L}{2x_m} \sqrt{\frac{y}{L} \left(2 - \frac{y}{L}\right)} \right]. \quad (5)$$

Кривые, построенные по уравнению (5) представлены на рисунке 4б. Участки постоянного усилия получены для отношения L/x_m в пределах 0,85 и 0,9.

Применение рычажных систем. Практически возможны разнообразные применения рычажных систем. Одна из систем (рисунок 5) основана на использовании резины или пенопласта.

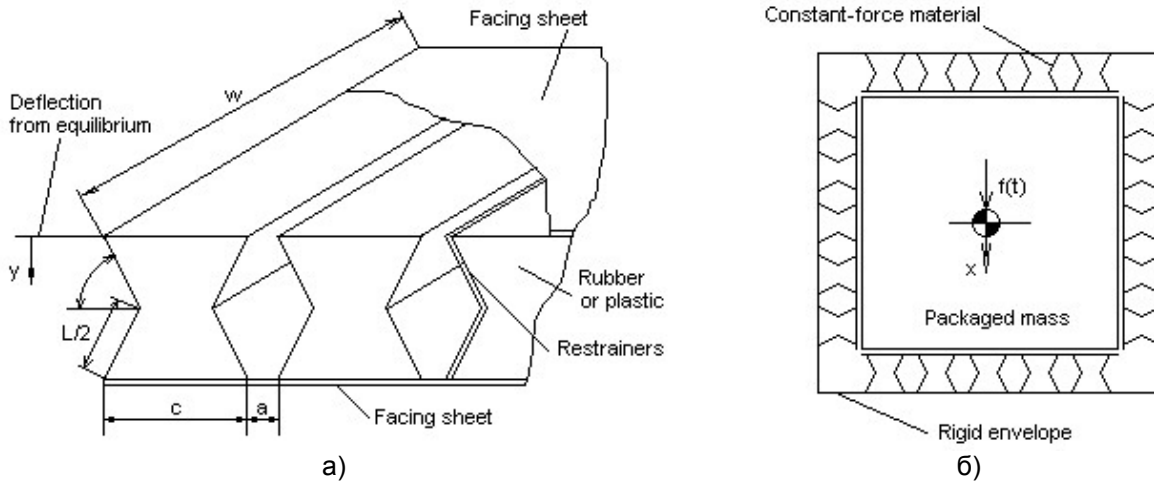


Рисунок 5 – Конструкция упаковки

Материал призматической формы зажат между внешней и внутренней поверхностью упаковки. Рычажная система выполняется из жесткого листового пластика. Шарниры на листах образуются продавливанием или перфорацией. Сила, приложенная к поверхности листа, сжимает конструкцию вертикально. Одновременно это приводит к сжатию упругого материала в вертикальном и в горизонтальном направлении. Вертикальное сжатие аналогично действию пружин K_2 рисунок 2а; горизонтальное – действию пружины K_1 .

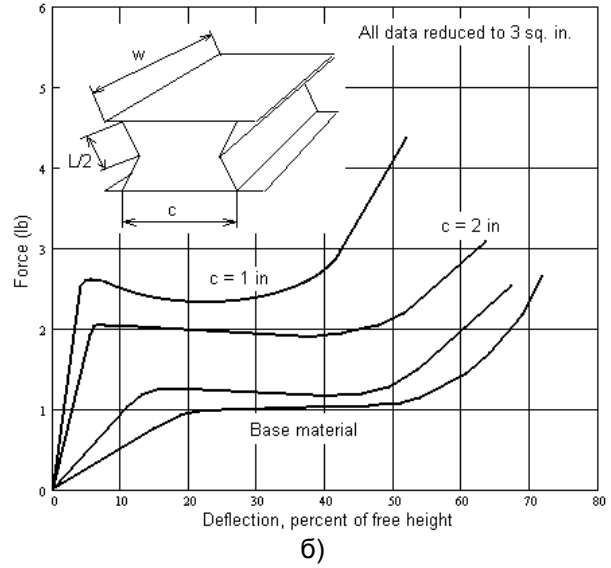
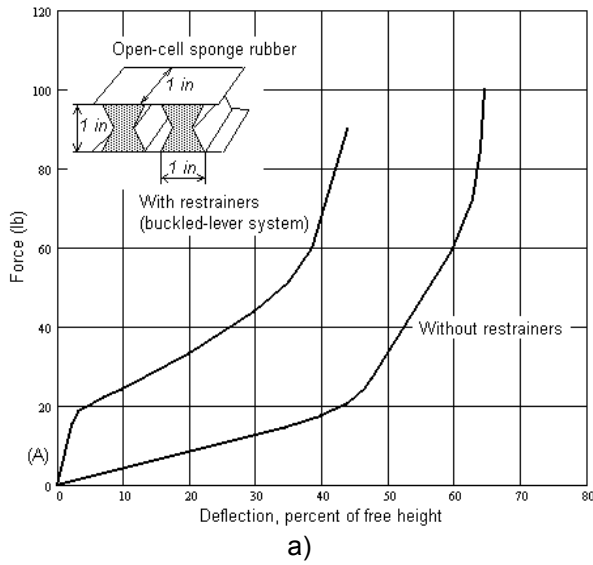
Результаты измерения статических силовых характеристик одной из таких систем показаны на рисунке 6а. Отклонения даны в процентах от несжатой высоты. Большинство опытов проводилось на образцах высотой 1 дюйм с деформацией 60% или 0,6 дюйма. Кривые для материала (со свободными краями) с резиновым наполнителем также здесь представлены. Складные рычажные системы могут поглотить существенно больше энергии, чем плоский образец из резины. Установка ограничителей изменяет кривую силы, которая приближается к системе постоянного усилия.

Отклонения силовых характеристик от горизонтального направления можно объяснить тем, что некоторые наполнители подвергаются напряжениям, превышающим расчетные значения, что делает их значительно жестче. Однако некоторые из испытанных материалов показали лучшие результаты в области высоких напряжений. Рисунок 6б показывает этот эффект при котором некоторые наполнители расширяют зону постоянного усилия.

Плоские кривые могут быть получены в рычажных конструкциях с полиуретановым наполнителем, рисунок 6в. Хотя даже плоская пена показывает большую зону постоянного усилия, установка ограничителей существенно повышает поглощающую способность при заданных деформациях при одновременном расширении области плато и увеличивает начальный наклон кривой.

Конструкции, использующие упругий материал на сжатие (как на рисунке 4) дают почти плоскую силовую характеристику, рисунок 6 – но с небольшими конструктивными трудностями. Упругий материал теряет устойчивость за исключением достаточно толстых образцов. Однако увеличение толщины приводит к соприкосновению с листами упаковки и полученная зона постоянного усилия значительно уменьшается. Использование материалов при растяжении устраняет проблему потери устойчивости, но создает другую – прочность при

перегрузках.



Наиболее подходящая форма для упругого сдвига включает систему из двух складных рычагов охваченных упругим резиновым кольцом, рисунке 7а. Диаграммы напряжение-деформация для таких и подобных систем на рисунке 7б.

Кривые показывают неустойчивость очевидную в местах отрицательного наклона кривой; однако этого можно избежать установкой материала работающего на сжатие в центре этой конструкции, как показано на рисунке 7б. С другой стороны силовые характеристики с отрицательным наклоном могут быть полезны в конструкциях требующих специальных силовых характеристик.

Итак, рычажные системы могут успешно использоваться для создания постоянного усилия в различных случаях. Однако имеются некоторые практические трудности, главная из которых получение заданной упругости без потери прочности.

Неустойчивые балки. Упругая неустойчивость сжатых балок может быть альтернативой рычажным системам. Балка теряет устойчивость, когда сила превышает критическую. Сжимающая сила вблизи критического значения сохраняет постоянную величину в достаточно широком диапазоне деформаций. Формула Эйлера для длинной гибкой балки дает критическую силу

$$F_c = \pi^2 CEA(r/L)^2. \quad (6)$$

Мы провели проверку формулы (6) для материалов похожих на резину и получили кривые в осях сила-деформация. Исследовались простые формы балок с целью получения длинного участка постоянной силы. Установлено, что арочные формы соответствуют заданным условиям. Также было проведено сравнение резиновых и полиэтиленовых пластин.

Реакция на удар. Сравнение защитных свойств при ударе проводилось для рычажных систем и для пластин из полиуретановой пены. Как ни странно, пена показала лучшие противоударные свойства при малых высотах падения, на больших высотах, при сильных ударах рычажные системы оказались эффективнее.

Виброзащитные свойства. Сравнение виброизоляции проводилось на двух призматических пористых формах. При равной толщине и площади основания более мягкая пена не

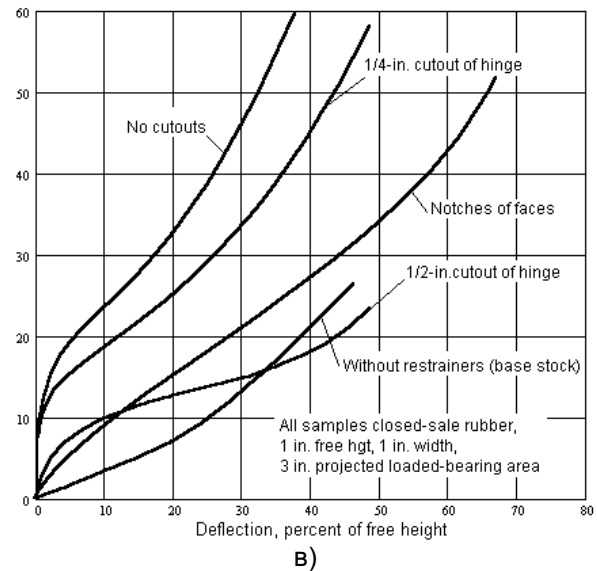
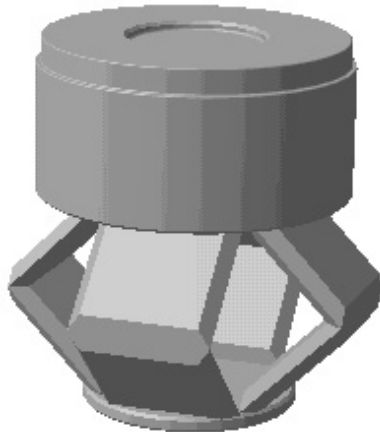
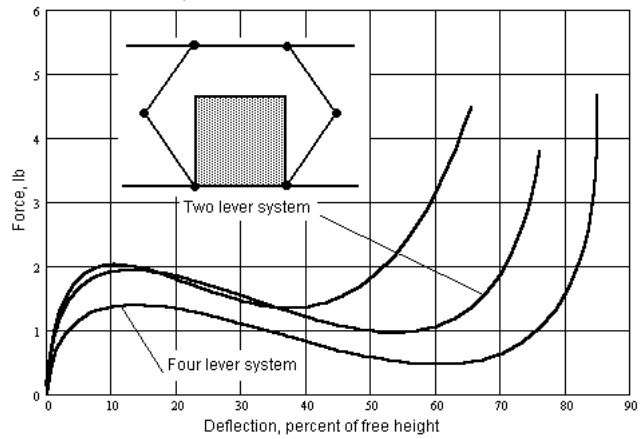


Рисунок 6 – Силовые характеристики рычажных систем: а)-пористая резина; б)-пористая резина с прорезями; в)-полиуретановая пена (упругость при сдвиге для резины, нагруженной как на рисунке 4)

удерживала вес и для неё использовали больший размер основания. Результаты оказались хорошими – стержни из пористых материалов снижают резонансную передачу вибрации вдвое. Это намного лучше, чем при испытании тяжелой пены с линейной силовой характеристикой показавшей сильный резонанс. Такое сравнение доказывает возможность использования систем постоянного усилия на основе пористых материалов в качестве виброизолятора.



а)



б)

Рисунок 7 – Рычажные системы с упругим кольцом: а)-экспериментальная четырехрычажная система; б)-сравнение силовых характеристик двурычажной и четырехрычажной системы с пенопластовой вставкой для исключения отрицательного наклона

Особенности проектирования упаковки. Проблемы производства стержневых упаковочных материалов практически не возникают. У нас были небольшие заминки при экструзии резиновых двутавровых профилей из промышленных типов резины и пластика. Закончилось тем, что одна сторона профилей приклеивалась к листам, а другая была самоклеящейся. Такие конструкции могут выдерживать любую необходимую нагрузку при надлежащем выборе площади опоры. При упаковке небольших предметов материал необходимой длины складывают несколько раз. Для подбора необходимой характеристики коврики из стержневых материалов делают многослойными. В этом случае зона постоянного усилия возрастает пропорционально количеству слоев.

Угловой удар при падении упаковки может повредить часть материала и привести к повреждению товара. Для предотвращения подобных случаев необходимо размещать центр масс груза на линии восстанавливающей силы упаковочных листов. Когда это трудно сделать, тогда применяют подкрепление из листов упаковки в месте смещения центра масс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 New constant-force spring systems / E. Ungar, S. Pearson, B. Beranek. Inc. Newman. - Cambridge, Mass.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теория, нулевая жесткость
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Зуев Анатолий Кузьмич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАВИТАЦИИ В КАПЛЕ ТЯЖЕЛОГО ТОПЛИВА, СОДЕРЖАЩЕЙ ТВЕРДУЮ ЧАСТИЦУ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Титов, В.Д. Шмаков, Г.С. Юр

STUDY OF PROCESS OF CAVITATION IN A DROP OF HEAVY FUEL CONTAINING SOLID PARTICLE
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 S.V. Titov, V.D. Shmakov, G.S. Yur

Mathematical model and results of numerical studies of cavitation process in liquid drop are presented. It is shown that use of process of cavitation in atomized fuel droplets significantly improves environmental performance of marine diesel engine when working on heavy grades of fuel.

Keywords: diesel engine, heavy fuel, cavitation, chark particles, emission

Приведены математическая модель и результаты численного исследования процесса кавитации в капле жидкости. Показано, что использование процесса кавитации в каплях распыленного топлива существенно улучшает экологические показатели судового дизеля при работе на тяжелых сортах топлива.

26 сентября 1997 года на конференции членов Международной Морской организации (ИМО) принят «Технический Кодекс по выбросам окислов азота от судовых двигателей» вступивший в силу 1 января 2000 г. Технический кодекс является частью приложения к международной конвенции МАРПОЛ 73/78 [1].

Прошедшая в Лондоне с 6 по 10 октября 2008 года 58 сессия Комитета по защите Морской Среды (МЕРС) приняла новую редакцию Правил предотвращения загрязнения воздушной среды с судов [2].

Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 марта 2011 г. №23 Россия присоединилась к Международной Конвенции, что поставило отечественных машиностроителей в равные условия с зарубежными производителями.

Принятые на 58 сессии (ИМО) новые нормы предусматривают в период до 2012 года сократить выбросы частиц до с 4,5 до 3,5%, а до 2020 года с 3,5 до 0,5%, или в 7 раз!

За рубежом судовые мало и среднеоборотные судовые дизели в основном используют тяжелые сорта топлив. Цены на низкокачественные тяжелые топлива искусственно поддерживаются в 2,5-3 раз ниже, чем цена дистиллятного дизельного топлива. Поэтому проблема использования дешевых тяжелых сортов топлива, которые могут принести значительную прибыль судовладельцам весьма актуальна.

Опыт перевода отечественных судовых дизелей речных судов на низкокачественные топлива показал, что с утяжелением фракционного состава значительно ухудшаются их экологические, энергетические и ресурсные показатели [3]. Основной причиной их ухудшения является неполнота и несвоевременность процесса сгорания, а также интенсивное образование твердых частиц. Особенно отчетливо эти отрицательные факторы проявляется при увеличении частоты вращения коленчатого вала.

Очевидно, что для решения задачи резкого сокращения эмиссии частиц, особенно при использовании тяжелых сортов топлива, необходимо разработать принципиально новые прорывные технологии в организации процессов смесеобразования и сгорания.

Комплекс теоретических и экспериментальных исследований выполненных сотрудниками кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания показал, что эффективным средством воздействия на рабочий процесс являются газодинамические колебания, которые при определенных условиях могут инициировать процесс кавитации.

Теоретическое исследование процесса кавитации в дизельном топливе в условиях камеры сгорания было выполнено в работе [4]. Отмечено, что при осуществлении процесса акустической паровой кавитации возможно мгновенное разрушение капли в результате объемного микровзрыва. Опыты, проведенные на неподвижной капле дизельного топлива помещенной в осциллирующую нагретую газовую среду, подтвердили результаты этих теоретических исследований.

Использование камеры сгорания с профилированным поршнем, генерирующим газодинамические колебания в двигателе Ч10,5/12 при работе на дизельном топливе, позволило уменьшить дымность отработавших газов более чем в 2 раза [5].

Однако попытка перевода этого двигателя на мазут результатов не принесла. Сравнительные испытания опытного и штатного поршней на тяжелом топливе при частоте вращения коленчатого вала равной 1500 мин⁻¹ показали, что параметры рабочего процесса практически не изменились.

Сравнительный анализ процессов сопровождающих образование твердых частиц при работе на различных топливах показал:

– в каплях дистиллятного топлива частицы сажи главным образом образуются в процессе горения ацетилена при недостатке окислителя. В свою очередь ацетилен образуется в результате газификации жидких углеводородов [6, 7];

– при горении капель мазута преобладающим является процесс полимеризации содержащихся в них высокомолекулярных соединений. В результате образуется коксовый остаток, размер которого может составлять 25% и более от первоначального диаметра капли. Установлено, что время горения такой частицы на порядок больше времени горения капли дизельного топлива одинакового размера [8-10].

Для разрушения твердых частиц образующихся в капле топлива в процессе её горения предлагается использовать процесс кавитации. Гидродинамические, тепловые, кумулятивные и другие эффекты, сопровождающие кавитацию, обладают значительной энергией и огромной разрушительной силой [11]. В настоящее время в природе не существует материалов способных противостоять кавитации.

Экспериментальное исследование процесса кавитации в каплях распыленного топлива связано со значительными и порой непреодолимыми трудностями. Поэтому для изучения особенностей этого процесса используем численные методы исследования.

Предположим, что капля топлива мазута радиусом R_k , содержащая коксовую частицу радиусом $R_{мч}$ находится в осциллирующей газовой среде. Частица является зародышем кавитационного пузырька радиусом R_0 .

На рисунке 1 изображена расчетная модель капли тяжелого топлива.

С учетом силы поверхностного натяжения, действующей на поверхность капли и поверхность пузырька, уравнение равновесия сил запишется в виде

$$R \frac{d^2 R}{d\tau^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{d\tau} \right)^2 = \frac{1}{\rho} \left[P_a + \frac{2\sigma}{R_a} + \frac{2\sigma}{R_k} \right], \quad (1)$$

Примем следующие начальные условия:

– текущий радиус газового пузырька равен R_0 больше или равен радиусу твердой частицы $R_{мч}$

$$R = R_0 \geq R_{мч}, \quad (2)$$

– текущее давление примем равным P_0

$$P = P_0, \quad (3)$$

Введем следующие допущения:

- будем считать жидкость несжимаемой;
- масса газа в объеме газового пузырька, в течение исследуемого времени постоянна;
- диаметр газового пузырька значительно меньше длины звуковой волны;
- пульсации газовой среды одномерны;
- капля топлива неподвижна и не увлекается за колебаниями газовой среды.

Тогда уравнение для границы газового пузырька, находящегося в капле жидкости, которая помещена в осциллирующую газовую среду примет вид

$$R \frac{d^2 R}{d\tau^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{d\tau} \right)^2 + \frac{1}{\rho} \left[\frac{2\sigma}{R_0} + \frac{2\sigma}{R_k} \right] = -\frac{1}{\rho} (P_a - P_0 \sin \omega\tau). \quad (4)$$

Численное исследование будем проводить в безразмерных параметрах, для чего введем безразмерные переменные.

Для радиуса кавитационного пузырька

$$\bar{R} = \frac{R}{r}, \quad (5)$$

где R – текущий радиус пузырька;

r – характерный радиус пузырька.

Для времени:

$$\bar{t} = \frac{\tau}{t}. \quad (6)$$

где τ – текущее время;

t – характерное время.

Проверка математической модели проведена по данным, полученным Nolting В.Е и Neppiras Е.А. в Национальной Физической лаборатории США для газового пузырька находящимся в безграничной воде при возбуждении в ней ультразвуковых колебаний [11].

Численное моделирование проводилось при различных давлениях газовой среды, частотах газодинамических колебаний характерных собственных колебаний рабочего тела в камерах сгорания судовых дизелей, для различных амплитуд осцилляций газовой среды и коэффициентах поверхностного натяжения топлива. В процессе численного исследования

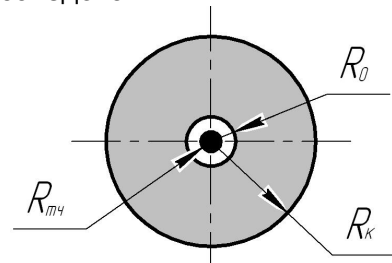


Рисунок 1 – Расчетная модель капли тяжелого топлива содержащей твердую частицу

выявлено ряд характерных особенностей осуществления процесса кавитации в каплях топлива, которые представляют практический интерес.

При расчетах, за базовые приняты следующие исходные данные: радиус капли мазута $R_k = 1 \cdot 10^{-5}$ м; радиус зародыша газового пузырька $R_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ м; плотность топлива $\rho = 905$ кг/м³; коэффициент поверхностного натяжения топлива $\sigma = 6,83 \cdot 10^{-3}$ кг/с²; круговая частота газодинамических колебаний $\omega = 34 \cdot 10^3$ с⁻¹.

Численное моделирование проводилось при различных давлениях газовой среды, частотах газодинамических колебаний, характерных для камеры сгорания судовых дизелей, а также для различных амплитуд пульсаций газовой среды и коэффициентах поверхностного натяжения топлива.

Проследим за динамикой изменения радиуса газового пузырька за один полный период колебаний, при следующих внешних условиях: статическое давление газовой среды $P_a = 6$ МПа, амплитуда пульсаций давления в среде $P_0 = 6,2$ МПа.

На рисунке 2 представлены графики изменения давления газовой среды и изменения относительного радиуса газового пузырька по времени.

В верхней части рисунка показана диаграмма изменения внешнего давления газовой среды P . В нижней части – диаграмма изменения относительного радиуса газового пузырька \bar{R} .

Из рисунка 2 видно, что при амплитуде пульсаций давления 6,2 МПа происходит схлопывание газового пузырька. При меньшем давлении, например 6,1 МПа, наблюдаются пульсации радиуса газового пузырька без его полного схлопывания.

Это свидетельствует о том, что для осуществления процесса кавитации давление осцилляций должно превышать постоянное давление газовой среды не менее чем на 0,2 МПа.

Рассмотрим особенности процесса акустической внутрикапельной кавитации.

Весь процесс движения границы газового пузырька условно можно разделить на пять характерных периодов [12].

В начале процесса давление газа в пузырьке, внутри которого находится твёрдая частица, будет уравновешено внешним статическим давлением газовой среды и силами поверхностного натяжения жидкости на границах газ-жидкость.

В первом периоде, при падении внешнего давления в газовой среде начинается процесс расширения газового пузырька. Давление газа в пузырьке будет превышать внешнее давление газовой среды, и потенциальная энергия давления газа в пузырьке будет переходить в кинетическую энергию движения жидкости на границе газ-жидкость.

Во втором периоде, когда давление в пузырьке начнет значительно превышать внешнее давление, будет происходить интенсивный рост газового пузырька. В это время пузырек теряет устойчивость и начинает расширяться, с высокой скоростью. Здесь потенциальная энергия сжатого газа в пузырьке переходит в кинетическую энергию присоединенной к границе пузырька массы жидкости. Процесс, неограниченного роста и последующего слияния малых пузырьков в крупные, может привести к объёмному взрыву капли, что нашло свое теоретическое и экспериментальное подтверждение [4, 13].

При возбуждении в газовой среде гармонических колебаний этот процесс кавитации будет развиваться иначе.

В третьем периоде, когда значение давления газовой среды меняет знак и внешнее давление начнет превышать давление газа в кавитационном пузырьке, рост газового пузырька замедляется вплоть до его полной остановки. В этом случае преобладающее влияние на рост пузырька оказывают силы инерции движущейся от центра капли к периферии массы жидкости.

В конце третьего периода кинетическая энергия движения массы жидкости переходит в потенциальную энергию разряженного газа в кавитационном пузырьке.

В четвертом периоде под действием силы внешнего давления газовой среды и сил поверхностного натяжения жидкости на границах капли и газового пузырька произойдет схлопывание газового пузырька.

В конце четвертого периода кинетическая энергия массы жидкости переходит в потенциальную энергию сжатого газа. При резком повышении давления внутри газового пузырька имеет место повышение температуры. В результате будут создаваться условия для пиролиза и газификации жидких углеводородов. Как видно из приведенного рисунка период схлопывания пузырька значительно короче периода его роста, следовательно, скорость движе-

ния границы газового пузырька значительно выше.

В результате схлопывания внутри пузырька имеют место мощные кумулятивные, электрические и другие неизвестные нам явления [14].

В дальнейшем, при продолжении осцилляций и повторении пульсаций давление газовой среды вновь будет снижаться, начнется повторный рост зародыша и все процессы, характерные для первого периода повторяться. Последовательно повторяющиеся процессы схлопывания газового пузырька должны привести к разрушению коксовой частицы находящейся в капле мазута.

Как показали численные исследования для устойчивого осуществления периодически повторяющегося процесса кавитации необходимо преодолеть порог кавитационной прочности жидкости. Для этого необходимо, чтобы в условиях камеры сгорания амплитуда пульсаций давления на 0,2 МПа превышала внешнее статическое давление газовой среды.

Экспериментальные исследования на неподвижно закрепленной капле и топливной струе мазута находящихся в нагретой осциллирующей среде, а также испытания камеры сгорания опытного дизеля повышенной быстроходности при работе на тяжелом топливе плотностью 1170 кг/м^3 подтвердили результаты выполненных численных расчетов [15-17]. Организация процесса кавитации внутри капель тяжелого топлива позволила разрушить частицы кокса внутри капель топлива и уменьшить дымность отработавших газов почти в два раза (от 14 до 7,4% по шкале Hartridge). Одновременно с этим концентрация оксидов азота сократилась с 220 до 156 ppm, температура отработавших газов снизилась на 12-19 °С.

В результате численных исследований определены границы кавитационного порога для капель углеводородных топлив в условиях камеры сгорания дизеля. Экспериментально подтверждена эффективность использования кавитации для разрушения частиц кокса внутри капель тяжелых топлив с целью улучшения экологических показателей дизелей.

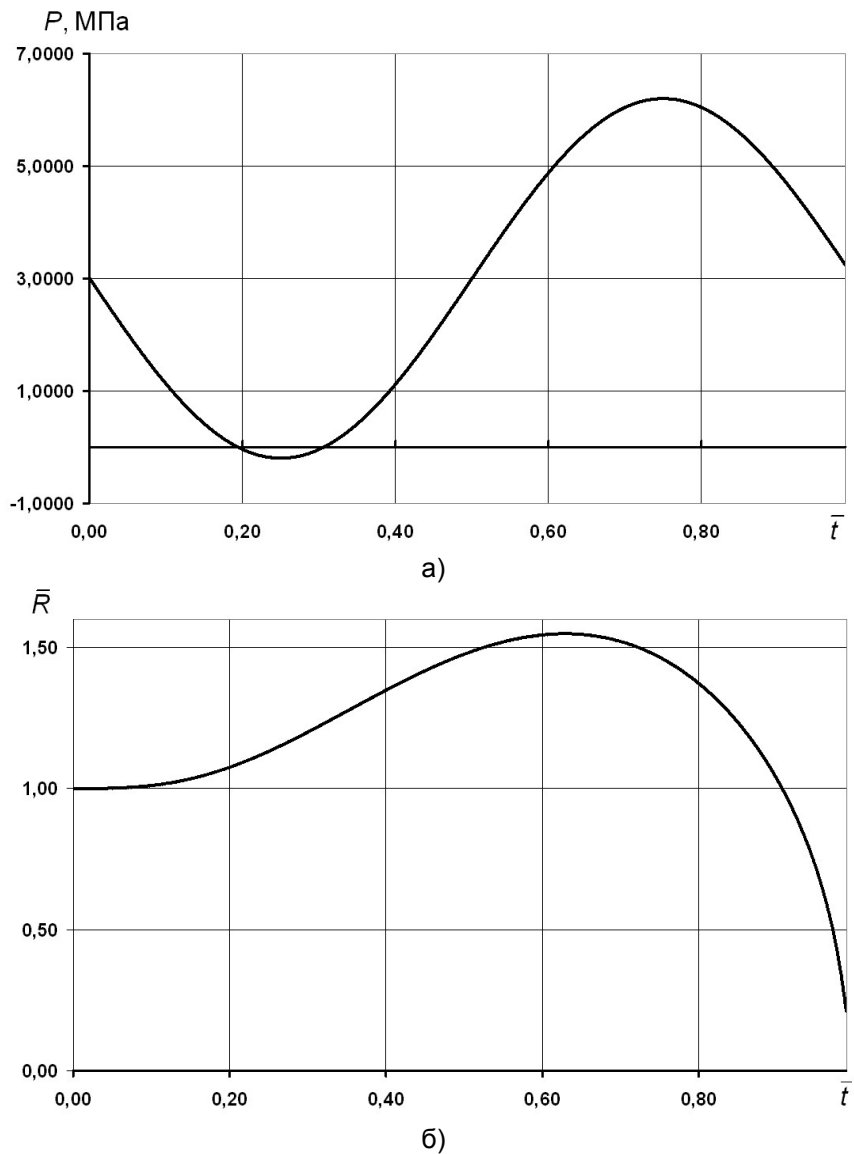


Рисунок 2 – Динамика пульсации давления газа (а) и изменение размеров кавитационного пузырька (б) при следующих внешних условиях: $P_a = 6 \text{ МПа}$; $P_0 = 6,2 \text{ МПа}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г. к ней (МАРПОЛ 73/78) = International Convention for Prevention of Pollution from Ships, 1973. В 3 кн. Кн. 3. -2-е изд., испр. и доп. -СПб.: ЦНИИМФ: МОРСАР, 2000. -282 с.

2 Emission Standards. International: IMO Marine Engine Regulations. -4 p.

3 Топливо и топливные системы судовых дизелей / Ю.А. Пахомов [и др.]; под ред. Ю.А. Пахомова. -М.: ПКонсульт, 2004. - 496 с.

- 4 Титов, С.В. Численное исследование процесса паровой внутрикапельной кавитации / С.В. Титов, И.В. Ершов // Ползунов. вестн. -2008. -№1/2. -С. 123-125.
- 5 Науменко, О.Ф. Газодинамические колебания – эффективное средство повышения выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизелей / О.Ф. Науменко, В.В. Коновалов, Г.С. Юр // Труды Международного Форума по проблемам науки и техники и образования / под ред. В.П. Савиных, В.В. Вишневецкого. -М., 2005. -Т.2. -С. 112-114.
- 6 Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов. -М.: Машиностроение, 1981. -160 с.
- 7 Андрущенко, С.П. Экспериментальное подтверждение гипотезы о механизме образования частиц сажи в камере сгорания дизеля через ацетилен / С.П. Андрущенко, В.В. Попков, С.В. Титов, Г.С. Юр // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -Новосибирск, 2010. -№ 2. -С. 267-269.
- 8 Жарков, Б.Л. Результаты экспериментального исследования процесса сгорания одиночных капель тяжелых топлив / Б.Л. Жарков // Перевод котельных установок и производственных печей на газ и жидкое топливо: сборник. -М., 1961. -С. 63-69.
- 9 Сполдинг, Д.Б. Горение и массообмен / Д.Б. Сполдинг. -М.: Машиностроение, 1985. -236 с.
- 10 Chaedhury, P.R. Analysis of fuel spray subjected to coupled evaporation and decomposition / P.R. Chaedhury, M. Cerstein //19 tm. Symp. (Int.) Combust., Haifa, Aug. 8-13, 1982. -Pittsburg, 1982. -P. 993-997.
- 11 Перник, А.Д. Проблемы кавитации / А.Д. Перник. -Л.: Судостроение, 1966. -439 с.
- 12 Ультразвуковая технология / В.А. Агранат [и др]; под ред. В.А. Аграната. -М., 1974. -503 с.
- 13 Титов, С.В. Исследование процесса испарения капли дизельного топлива в возмущенной воздушной среде / С.В. Титов, В.Д. Шмаков, Г.С. Юр // Повышение эффективности силовых установок: материалы докл. к Междунар. науч.-техн. конф., Челябинск, 13-18 сент. 2008 г. -Челябинск, 2008. -С. 68-73.
- 14 Маргулис, М.А. Акустическая кавитация. Новые экспериментальные и теоретические исследования / М.А. Маргулис // Акустическая кавитация и применение ультразвука в химической технологии «Кавитация-85»: тез. докл. -Славское, 1985. -С. 3-4.
- 15 Шмаков, В.Д. Исследование процесса горения твердой частицы в осциллирующей среде / В.Д. Шмаков, Г.С. Юр // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. «АГРОИНФРО-2009», Новосибирск, 14-15 окт. 2009 г. / Рос. акад. с.-х. наук. Сиб. отд.-ние, Сиб. физ.-техн. ин-т аграр. проблем. -Новосибирск, 2009. -Ч.2. -С. 211-214.
- 16 Титов, С.В. Кавитационный термический газовый генератор для газификации дизельного топлива / С.В. Титов, Г.С. Юр // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2007. -№1. -С. 107-109.
- 17 Шмаков, В.Д. Результаты экспериментального исследования рабочего процесса дизеля с камерой сгорания содержащей газоструйный генератор газодинамических колебаний при работе на мазуте / В.Д. Шмаков, С.В. Титов, Г.С. Юр // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -Новосибирск, -2010. -№2. -С. 269-272.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *дизель, тяжелое топливо, кавитация, частицы кокса, эмиссия*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Титов Сергей Владilenович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
Шмаков Василий Дмитриевич, канд. техн. наук, ассистент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ДЕФОРМАЦИИ И НАРУШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ СЛОЯ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Г.В. Кузнецов, В.Ю. Половников

NUMERICAL ANALYSIS OF HEAT LOSS HEAT PIPELINES IN TERMS OF DEFORMATION AND BREAKAGE OF THE LAYER OF THERMAL INSULATION

«National research Tomsk polytechnic university»

G.V. Kuznetsov, V.Yu. Polovnikov

The results of calculation of heat loss of heat pipelines in terms of deformation and breakage of the layer of thermal insulation provided. A significant increase in heat loss heat pipelines when working in such conditions is shown.

Keywords: mathematical modeling, heat pipeline, thermal loss

Представлены результаты расчета тепловых потерь теплопровода в условиях деформации и нарушения целостности слоя тепловой изоляции. Показано существенное увеличение тепловых потерь при работе теплопроводов в подобных условиях.

Основными причинами роста тепловых потерь теплопроводов являются увлажнение [1], деформация и нарушения целостности слоя тепловой изоляции [2]. Масштабы потерь тепла теплотрубопроводов, эксплуатирующихся с увлажненной изоляцией, и факторы, оказывающие основное влияние на интенсификацию тепловых потерь в подобных условиях установлены и приведены в [3]. Однако до настоящего времени не опубликовано результатов каких-либо теоретических или экспериментальных исследований тепловых режимов и тепловых потерь систем транспортировки тепла, работающих с деформированной или частично отсутствующей тепловой изоляцией.

Целью данной работы является численный анализ тепловых потерь теплопроводов в условиях деформации и нарушения целостности слоя тепловой изоляции.

Рассматривается широко распространенная в РФ конфигурация теплотрубопровода [4],

размещенного в непроходном канале и теплоизолированного минеральной ватой.

Под нарушением целостности слоя изоляции в данной работе понимается частичное отсутствие теплоизоляционного покрытия на поверхности трубы (трещины, дефекты изоляционной конструкции, вызванные не качественным монтажом или физическим старением тепловой изоляции). Нарушение целостности слоя тепловой изоляции имитируется путем исключения из области решения сегмента, размеры которого соответствуют объемной доле отсутствующей изоляции.

Деформация изоляции теплопровода моделировалась снижением толщины слоя тепловой изоляции в верхней части и провисанием (с образованием воздушной прослойки) теплоизоляции в нижней части теплопровода. Подобное состояние теплоизоляционной конструкции теплопроводов является достаточно распространенным и отражает реальное состояние изоляции трубопроводов тепловых сетей [5].

Для проведения численного анализа тепловых режимов и тепловых потерь теплопровода в условиях деформации и нарушения целостности слоя тепловой изоляции необходимо решить стационарную задачу теплопроводности в системе «стенка трубы-слой тепловой изоляции (имеет нарушения целостности или деформирован)-окружающая среда» с соответствующими условиями однозначности.

При постановке задачи приняты следующие основные допущения:

– Теплофизические характеристики материалов, используемые при численном анализе, являются постоянными и известными.

– В воздушной прослойке, образовавшейся в результате деформации слоя тепловой изоляции, расчет теплопередачи производится с использованием эффективного коэффициента теплопроводности, учитывающего интенсификацию теплообмена, вызываемую свободной конвекцией. Подобный подход широко распространен и хорошо себя зарекомендовал при расчете теплопередачи через газовые прослойки [6].

– Передача тепла излучением в воздушной прослойке не учитывается.

Стационарное температурное поле в стенке трубы, слое тепловой изоляции и воздушной прослойке определялось из уравнений:

$$\operatorname{div}[\lambda_p \operatorname{grad}(T_p)] = 0, \quad (1)$$

$$\operatorname{div}[\lambda_i \operatorname{grad}(T_i)] = 0, \quad (2)$$

$$\operatorname{div}[\lambda_{ef} \operatorname{grad}(T_{ef})] = 0. \quad (3)$$

При постановке задачи принималось, что на внутренней поверхности трубы поддерживается постоянная температура

$$T_{p,1} = T_{in} = \text{Const}. \quad (4)$$

В местах соприкосновения слоев реализуются условия идеального теплового контакта:

$$\lambda_p \operatorname{grad}(T_{p,2}) = \lambda_i \operatorname{grad}(T_{i,2}); T_{p,2} = T_{i,2}; \quad (5)$$

$$\lambda_p \operatorname{grad}(T_{p,3}) = \lambda_{ef} \operatorname{grad}(T_{a,3}); T_{p,3} = T_{a,3}, \quad (6)$$

$$\lambda_{ef} \operatorname{grad}(T_{a,4}) = \lambda_i \operatorname{grad}(T_{i,4}); T_{a,4} = T_{i,4}. \quad (7)$$

Для стенки трубы, воздушной прослойки и тепловой изоляции, не имеющей нарушений целостности, выполняются условия симметрии:

$$\operatorname{grad}(T_p) = 0; \quad (8)$$

$$\operatorname{grad}(T_a) = 0; \quad (9)$$

$$\operatorname{grad}(T_i) = 0. \quad (10)$$

На границах контакта с окружающей средой теплообмен осуществляется совместно конвекцией и тепловым излучением:

$$-\lambda_p \operatorname{grad}(T_{p,5}) = \alpha(T_{p,5} - T_{ex}) + \varepsilon_{res,p-c} \sigma (T_{p,5}^4 - T_{ex}^4); \quad (11)$$

$$-\lambda_i \operatorname{grad}(T_{i,6}) = \alpha(T_{i,6} - T_{ex}) + \varepsilon_{res,i-c} \sigma (T_{i,6}^4 - T_{ex}^4). \quad (12)$$

Эффективный коэффициент теплопроводности воздушной прослойки вычислялся из соотношения [6]

$$\lambda_{ef} = 0,18 \lambda_a (\text{GrPr})^{0,25}. \quad (13)$$

где T – температура, К;

- λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);
- α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);
- ε – степень черноты;
- σ – постоянная Стефана-Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴);
- Gr – число Грасгофа;
- Pr – число Прандтля;

Индексы:

- p – стенка трубы;
- i – слой тепловой изоляции;
- ef – эффективный;
- a – воздушная прослойка;
- in – внутренний;
- ex – внешний;
- res – приведенный;
- c – канал;
- 1 – внутренняя поверхность трубы;
- 2...6 – соответственно границы разделов «труба-изоляция», «труба-воздушная прослойка», «воздушная прослойка-изоляция», «труба-окружающая среда», «изоляция-окружающая среда».

Рассматриваемая задача (1)-(13) решена методом конечных разностей [7]. Разностные аналоги уравнений (1)-(13) решены с использованием методов установления и простых итераций [7]. Особенности решения задачи заключались в наличии нелинейности в выражениях (11) и (12), разрыве теплофизических характеристик на границах разделов и применении областей расчета сложной геометрии.

Исследования проводились для трубопровода с диаметром условного прохода трубопровода 600 мм, изготовленного из стали 10 (толщина стенки 9 мм), тепловая изоляция – минеральная вата (толщина 70 мм) [4]. Теплопровод размещался в канале марки КЛс 120-120 [4]. Температура внутренней поверхности трубы считалась равной $T_{in} = 363$ К и соответствовала среднегодовой температуре теплоносителя в подающих трубопроводах водяных тепловых сетей при их работе по одному из основных температурных графиков [8] – 150/70 °С. Температура окружающей среды принималась равной $T_{ex} = 296$ К. Коэффициент теплоотдачи на внешнем контуре рассматриваемой системы, в соответствии с [8], составлял $\alpha = 11$ Вт/(м²·К).

Объемные доли отсутствующей на трубопроводе тепловой изоляции ψ варьировалась в диапазоне от $\psi = 0$ (тепловая изоляция не повреждена) до $\psi = 1$ (оголенный трубопровод).

Наличие деформации изоляции теплотрубопровода учитывалась снижением толщины слоя в верхней части и провисанием теплоизоляции в нижней части теплопровода на величину, равную полутолщине изоляции (35 мм). Размер воздушной прослойки соответствовали размеру слоя тепловой изоляции, на который была уменьшена толщина теплоизоляции в верхней части конструкции.

В таблице 1 приведены значения коэффициентов теплопроводности тепловой изоляции и стенки трубы [9], а также значения ε [10], необходимые для расчета приведенных степеней черноты $\varepsilon_{res,p-c}$ и $\varepsilon_{res,i-c}$.

Таблица 1 – Характеристики материалов

Материал	Изоляция	Труба	Канал
λ , Вт/(м·К)	0,059	57,7	–
ε	0,5	0,9	0,85

Основные результаты численного исследования тепловых режимов теплопроводов в условиях нарушения целостности и деформации слоя тепловой изоляции приведены в таблице 2.

В таблице 2 приведены величины тепловых потерь теплопровода, полученные на базе решения системы уравнений (1)-(13), с учетом теплового излучения Q_2 и без учета теплового излучения Q_1 . Результаты расчетов тепловых потерь, приведенные в таблице 2, свидетельствуют об ожидаемом увеличении тепловых потерь теплопровода с ростом доли отсутствующей изоляции ψ . Учет влияния теплового излучения также приводит к закономерному повышению теплотерь. При этом с увеличением доли отсутствующей на трубопроводе тепловой изоляции увеличивается влияние теплового излучения. Из данных, представлен-

ных в таблице 2, видно, что учет теплового излучения приводит к изменению тепловых потерь δ_1 от 1,39% до 40% в зависимости от ψ . Это обстоятельство подтверждает необходимость учета лучистой составляющей при расчете тепловых потерь теплопроводов, работающих с нарушениями целостности теплоизоляционного покрытия.

Таблица 2 – Результаты численного исследования тепловых потерь теплопровода

Параметр	ψ						Деформация теплоизоляционного слоя
	0,000	0,125	0,250	0,375	0,500	1,000	
Q_1 , Вт/м	115,39	291,43	456,81	602,91	790,54	1450,21	122,24
Q_2 , Вт/м	117,02	407,89	693,11	977,91	1268,22	2417,24	124,52
$\delta_1 = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} 100\%$	1,39	28,55	34,09	38,34	37,66	40,00	1,83
$\delta_2 = \frac{Q_2}{Q_{норм}}$, ед.	1,14	3,97	6,74	9,51	12,34	23,51	1,21

Сопоставление результатов численного анализа тепловых потерь Q_2 при $\psi = 0$ (тепловая изоляция не повреждена) с нормативными показателями $Q_{норм}$ [11] позволяет говорить о том, что расхождение между ними является незначительным $\delta_2 = 1,14$ ед., что в целом подтверждает адекватность предлагаемой в данной работе математической модели и методики анализа тепловых потерь теплопроводов. По данным [11] линейная плотность теплового потока для трубопровода с диаметром условного прохода 600 мм и температурой теплоносителя 363 К составляет $Q_{норм} = 102,8$ Вт/м.

Сравнение Q_2 при $\psi > 0$ с $Q_{норм}$ позволяет сделать вывод о том, что нарушение целостности слоя тепловой защиты теплопровода приводит к значительному повышению тепловых потерь. В предельном случае, когда тепловая изоляция отсутствует на теплопроводе полностью, тепловые потери возрастают в $\delta_2 = 23,51$ раза, что определенным образом объясняет существующий в настоящее время уровень тепловых потерь в тепловых сетях [1, 2].

Анализ результатов численного исследования тепловых потерь теплопровода, имеющего деформированную тепловую изоляцию (таблица 2), дает возможность говорить о том, что относительно небольшое изменение геометрических характеристик теплоизоляционной конструкции рассматриваемой системы приводит к заметному повышению уровня тепловых потерь. Для рассматриваемого в данной работе случая рост тепловых потерь составил $\delta_2 = 1,21$ раза, что также объясняет высокий текущий уровень тепловых потерь при транспортировке теплоносителя [1, 2].

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Президента РФ (проект № МК-1284.2011.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Яковлев, Б.В. Предотвращение коррозионной повреждаемости теплосетей канальной прокладки / Б.В. Яковлев // Новосте теплоснабжения. -2009. -№3. -С. 39-41.
- 2 Байбаков, С.А. Основные направления повышения эффективности тепловых сетей / С.А. Байбаков, А.С. Тимошкин // Электр. станции. -2004. -№7. -С. 19-25.
- 3 Кузнецов, Г.В. Оценка масштабов тепловых потерь в магистральных теплотрубопроводах в условиях затопления / Г.В. Кузнецов, В.Ю. Половников // Пром. энергетика. -2006. -№8. -С. 32-34.
- 4 Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А.А. Николаева. -Курган: Интеграл, 2010. -357 с.
- 5 Шойхет, Б.М. Обследование технического состояния и реконструкция тепловой изоляции эксплуатируемых магистральных теплопроводов / Б.М. Шойхет, Л.В. Ставрицкая // Энергосбережение. -2002. -№3. -С. 60-62.
- 6 Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. -М.: Атомиздат, 1979. -415 с.
- 7 Самарский, А.А. Численные методы математической физики / А.А. Самарский, А.Н. Гулин. -М.: Науч. мир, 2000. -316 с.
- 7 СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. -М.: Госстрой России, 2001. -42 с.
- 9 Гува, А.Я. Краткий теплофизический справочник / А.Я. Гува. -Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. -300 с.
- 10 Излучательные свойства твердых материалов: справочник / под ред. А.Е. Шейндлина. -М.: Энергия, 1974. -472 с.
- 11 СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. -СПб.: ДЕАН, 2004. -61 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическое моделирование, теплопровод, тепловые потери
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кузнецов Гений Владимирович, докт. физ.-мат. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИТПУ»
 Половников Вячеслав Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИТПУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИТПУ»

РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ АМПЛИТУД КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОВОЙ ЛИНИИ ДИЗЕЛЬНЫХ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

CALCULATION OF NATURAL FREQUENCIES AND RELATIVE AMPLITUDES OF TORSIONAL OSCILLATIONS OF THE GROSS LINE DIESEL SHIP POWER PLANTS

«Novosibirsk state academy of water transport»
S.V. Vikulov

Based on theoretical analysis to investigate the spectrum of natural frequencies of torsional vibrations desyatimassovoy torsionally vibrating gross line diesel ship power plants Project 1741A.

Keywords: marine diesel, gross line, torsional vibration, maintenance, simulation, spectrum

На основе теоретического анализа исследован спектр собственных частот крутильных колебаний десятимассовой крутильно-колеблющейся валовой линии дизельной СЭУ теплохода проекта 1741А.

Для оценки и анализа технического состояния элементов валовой линии эксплуатируемых судовых дизелей в условиях эксплуатации [1, 2] необходимо знать величину контролируемого интервала частот и характер развития амплитуд свободных крутильных колебаний валопровода. В настоящей работе рассмотрены результаты расчета собственных частот и относительных амплитуд крутильных колебаний валовой линии теплохода проекта 1741А.

Энергетическая установка теплоходов проекта 1741А двухвальная. Крутильно-колеблющиеся схемы системы «дизель-двигатель» левого и правого борта идентичны, каждая состоит из дизеля 6NVD26А-3 мощностью 305 л.с. при частоте вращения коленчатого вала 950 об/мин, реверс-редуктора MS-400 с передаточным отношением 1:2.99, гребного вала и гребного винта фиксированного шага. Дизель 6NVD26А-3 оснащён силиконовым демпфером крутильных колебаний. Машинное отделение расположено в кормовой оконечности судна.

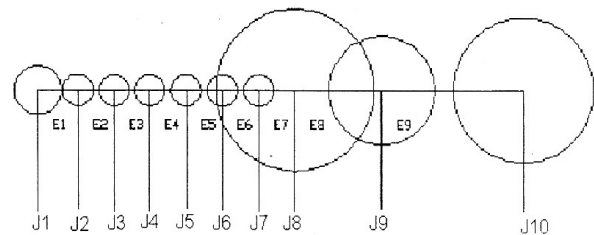


Рисунок 1 – Крутильная схема системы «дизель – двигатель» судов проекта 1741А с главным дизелем 6NVD26А-3

Крутильная схема системы «дизель-двигатель» представлена на рисунке 1. Относительные моменты инерции масс и податливости участков системы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики системы «дизель-двигатель»

Обозначение	E1/J1	E2/J2	E3/J3	E4/J4	E5/J5	E6/J6	E7/J7	E8/J8	E9/J9	J10
Податливости/ Момент инерции	0,752/1,547	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	8,65/52,1	10,3/3,5	14,9

Постоянные системы: $J_0 = 1,3 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$; $e_0 = 161,3 \cdot 10^{-10} \text{ рад}/(\text{Н}\cdot\text{м})$; $c_0 = 6,2 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$.

Движение элементов дискретной расчётной схемы (рисунок 1) при отсутствии внешних сил можно описать с помощью уравнений Лагранжа 2-го рода [3]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{d\dot{\phi}} \right) + \left(\frac{dT}{d\phi} \right) = 0; \tag{1}$$

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m I_i \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial t} \right)^2, \tag{2}$$

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=2}^m C_{ij} (\phi_i - \phi_j)^2, \tag{3}$$

где ϕ_i – углы поворота масс играют роль обобщенных координат;
T – кинетическая энергия;

- U – потенциальная энергия системы;
- I_i – момент инерции i -ой массы;
- c_{ij} – крутильная жёсткость между i -ой и j -ой массами.

Колебательное движение каждой массы происходит по гармоническому закону и определяется двумя параметрами: амплитудой a_i и частотой колебаний ω

$$\phi_i(t) = a_i \sin(\omega t). \quad (4)$$

Подставляя данное выражение в уравнение Лагранжа, и проводя дифференцирование по каждой обобщенной координате, получаем систему дифференциальных уравнений свободных колебаний крутильной системы:

$$\begin{cases} I_1 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t^2} + \sum_{j=2}^m c_{1j} (\phi_1 - \phi_j) = 0; \\ I_2 \frac{\partial^2 \phi_2}{\partial t^2} - c_{12} (\phi_1 - \phi_2) + \sum_{j=3}^m c_{2j} (\phi_2 - \phi_j) = 0; \\ I_i \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial t^2} - \sum_{k=1}^{i-1} c_{ki} (\phi_i - \phi_k) = 0; \\ I_m \frac{\partial^2 \phi_m}{\partial t^2} - \sum_{k=1}^{i-1} c_{km} (\phi_k - \phi_m). \end{cases} \quad (5)$$

Расчёт собственных частот ω и относительных амплитуд крутильных колебаний a валопровода СЭУ производился методом математического моделирования при непосредственном решении системы дифференциальных уравнений (5):

$$\begin{cases} (c_1 - \omega^2 j_1) \alpha_1 - c_1 \alpha_2 = 0; \\ -c_1 \alpha_1 + (c_2 + c_1 - \omega^2 j_2) \alpha_2 - c_2 \alpha_3 = 0; \\ (c_{m-1} - \omega^2 j_m) \alpha_m - c_{m-1} \alpha_{m-1} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Эти уравнения являются однородными и допускают решения относительно a_1, a_2, \dots, a_m отличные от нуля в том случае, когда определитель системы (рисунок 2) равен нулю.

$$\Delta(\omega^2) = \begin{vmatrix} c_1 - \omega^2 j_1 & -c_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 - \omega^2 j_2 & -c_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -c_3 & c_2 + c_3 - \omega^2 j_3 & -c_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_{m-1} & c_{m-1} - \omega^2 j_m \end{vmatrix} = 0$$

Рисунок 2 – Определитель системы

Определитель является функцией ω^2 , симметричен относительно главной диагонали и имеет порядок, равный числу степеней свободы дискретной системы. Так как ω^2 содержится во всех диагональных членах, то число корней определителя также равно числу степеней свободы.

Произведём подстановку исходных данных из таблицы 1 в определитель изображенный на рисунке 2. Такая подстановка представлена на рисунке 3.

$8.41\theta^2 - \omega^2 \cdot 2$	$-(8.41\theta)$	0	0	0	0	0	0	0	0
$-(8.41\theta)$	$8.41\theta^2 + 6.21\theta^2 - \omega^2 \cdot 1.3$	$-(6.21\theta)$	0	0	0	0	0	0	0
0	$-(6.21\theta)$	$12.4\theta^2 - \omega^2 \cdot 1.3$	$-(6.21\theta)$	0	0	0	0	0	0
0	0	$-(6.21\theta)$	$12.4\theta^2 - \omega^2 \cdot 1.3$	$-(6.21\theta)$	0	0	0	0	0
0	0	0	$-(6.21\theta)$	$12.4\theta^2 - \omega^2 \cdot 1.3$	$-(6.21\theta)$	0	0	0	0
0	0	0	0	$-(6.21\theta)$	$12.4\theta^2 - \omega^2 \cdot 1.3$	$-(6.21\theta)$	0	0	0
0	0	0	0	0	$-(6.21\theta)$	$5.61\theta^2 - 6.21\theta^2 - \omega^2 \cdot 1.3$	-5.61θ	0	0
0	0	0	0	0	0	-5.61θ	$5.61\theta^2 + 2.51\theta^2 - \omega^2 \cdot 67$	-2.51θ	0
0	0	0	0	0	0	0	-2.51θ	$2.51\theta^2 + 0.488\theta^2 - \omega^2 \cdot 1.73$	-0.488θ
0	0	0	0	0	0	0	0	-0.488θ	$0.488\theta^2 - \omega^2 \cdot 3.64$

Рисунок 3 – Матрица для моделирования собственных частот крутильных колебаний в программном пакете MathCAD версии 13

Решение матрицы, показанной на рисунке 3, определяет собственные значения системы (рисунок 4).

Для определения вектора собственных частот крутильных колебаний системы воспользуемся известной формулой

$$\nu = \frac{\sqrt{\lambda}}{2\pi},$$

подставив в неё значения λ показанные на рисунке 4.

Исходя из максимального порядка рассматриваемых гармоник (равного 12) и максимальной частоты вращения колнчатого вала (1000 об/мин), установим максимальную границу рассматриваемых частот колебаний, равную 200 Гц.

Спектр рассчитанных собственных частот крутильных колебаний дискретной десятимассовой системы «дизель-двигатель» теплохода проекта 1741А представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Спектр собственных частот крутильных колебаний

Форма колебаний	Частота колебаний, Гц
Одноузловая	54,031
Двухузловая	71,490
Трёхузловая	205,092
Четырёхузловая	212,666
Пятиузловая	341,178
Шестиузловая	466,195
Семиузловая	569,897
Восьмиузловая	644,178
Десятиузловая	684,539

относительных амплитуд колебаний (рисунок 5 и 6) производится отыскание узловых сечений, то есть тех сечений, которые остаются условно неподвижными при рассматриваемой форме колебаний.

Выводы:

1 Исследован спектр собственных частот крутильных колебаний десятимассовой крутильно-колеблющейся валовой линии дизельной СЭУ.

2 Установлена максимальная граница исследуемых частот собственных крутильных колебаний (200 Гц) для дизельной СЭУ теплохода проекта 1741А.

3 Изучен характер развития относительных амплитуд одноузловой и двухузловой форм крутильных колебаний, определяющих усталостную прочность валовой линии.

$$\lambda = \begin{pmatrix} 0 \\ .11525240522855113519 \\ .20176512380515685325 \\ 1.6605692246038954401 \\ 1.7854810230147711948 \\ 4.5953719638036196606 \\ 8.5801497525241097127 \\ 12.821891186285652416 \\ 16.382167382437555142 \\ 18.499313966433335909 \end{pmatrix} \cdot 10^6$$

Рисунок 4 – Матрица собственных значений крутильно-колеблющейся системы

Для известных собственных частот колебаний ν система уравнений вида (5) решается относительно амплитуд собственных колебаний при заданной частоте.

Расчётные относительные амплитуды представлены в таблице 3, где за единицу принята амплитуда колебаний первой массы системы – демпфера крутильных колебаний. Рисунки 5 и 6 иллюстрируют развитие относительных амплитуд соответственно одноузловой и двухузловой форм колебаний.

При помощи графиков развития

Таблица 3 – Относительные амплитуды колебаний

Номер массы системы	Одноузловая форма	Двухузловая форма
1	1	1
2	0,972559	0,9519607
3	0,9118781	0,8466019
4	0,8291609	0,7054271
5	0,7264064	0,5344088
6	0,6060976	0,3407821
7	0,471142	0,1327383
8	0,3091215	-0,103813
9	-1,008608	-0,072339
10	-7,37326	0,1415189

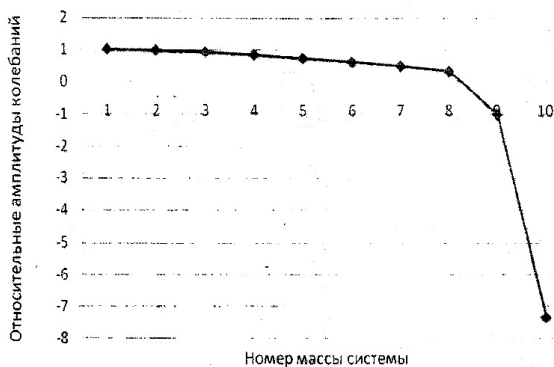


Рисунок 5 – График развития одноузловой формы крутильных колебаний

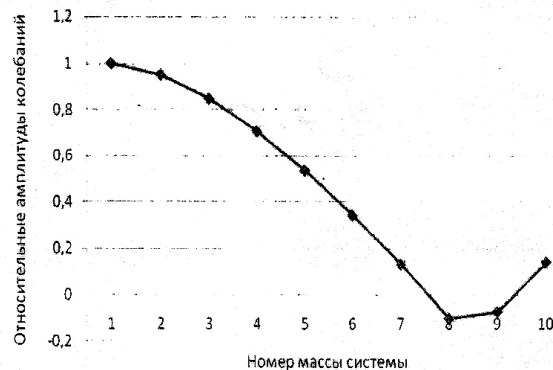


Рисунок 6 – График развития двухузловой формы крутильных колебаний

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 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.
- 2 Викулов, С.В. Торсиографическая оценка технического состояния силиконового демфера валопровода судовых энергетических установок / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 140-141.
- 3 Яблонский, А.А. Курс теории колебаний / А.А. Яблонский, С.С. Норейко. -М.: Высш. шк., 1975. -247 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовой дизель, валовая линия, крутильные колебания, техническое состояние, моделирование, спектр*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

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

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА БАГС-4

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

BENCH TESTING OF AUTOMATED CAL-OXIDATIVE AND MEASURING COMPLEX БАГС-4

«Novosibirsk state academy of water transport»

S.V. Vikulov

Based on an analysis of the results of bench tests of the complex БАГС-4 found an increase in spectral density with increasing.

Keywords: gross line, the engine, torsional vibration, maintenance, fatigue strength of the spectrogram

На основе анализа полученных результатов стендовых испытаний комплекса БАГС-4 установлено увеличение спектральной плотности торсиограммы с увеличением наработки коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.

Для создания технологий и средств технического диагностирования дизельных СЭУ необходимо совершенствование имеющихся и разработка новых методов определения напряженно-деформированного состояния валовой линии, для чего требуется многократное проведение натурных испытаний, а также необходимо современное экспериментальное оборудование с широкими функциональными возможностями [1-4].

Автоматизированные вычислительно-измерительные комплексы позволяют повысить производительность и снизить стоимость разработки и изготовления за счёт максимального использования возможностей компьютеров (сверхвысокое быстродействие и практически неограниченные возможности памяти) и современных информационных технологий (модели представления знаний, сетевые технологии, базы данных и знаний и др.).

Для измерения крутильных колебаний, крутящего момента, обработки торсиограмм и определения динамических характеристик эксплуатируемых валовых линий СЭУ использовался автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс БАГС-4, разработанный в лаборатории «Динамика и прочность судовых конструкций» кафедры «Сопротивления материалов» ФБОУ ВПО НГАВТ [1].

Комплекс состоит из следующих элементов: измерительного датчика ТНК-1 (ГОСТ 26046-83), аналого-цифрового преобразователя спектра ПФ-1 (ГОСТ 12997-84), программного обеспечения «Analyzer» («ЮнитКС»), ПЭВМ. Структурная схема автоматизированного комплекса для экспериментальных исследований крутильных колебаний валовых линий СЭУ показана на рисунке 1.

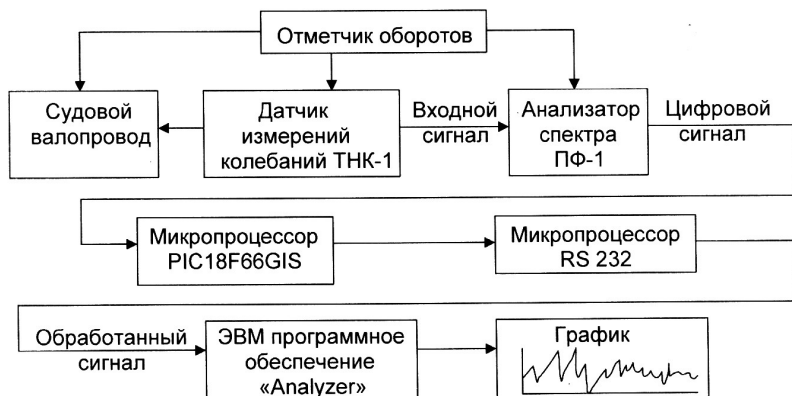


Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса БАГС-4

Для изучения возможности оценки усталостной прочности коленчатого вала по данным измерения динамических характеристик в зависимости от наработки дизеля проводились лабораторные стендовые исследования с использованием автоматизированного комплекса БАГС-4. Экспериментальная установка, входящая в состав исследовательского комплекса, изготовлена на базе токарно-винторезного станка 1А616 (рисунок 2). Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рисунке 3.

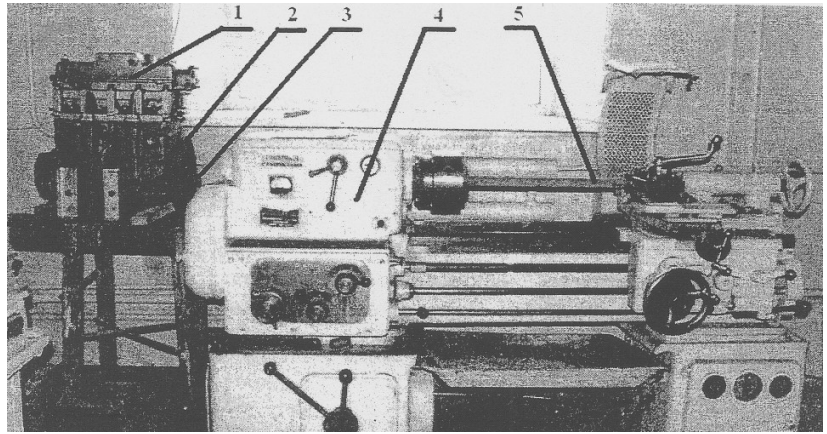


Рисунок 2 – Внешний вид экспериментальной установки для исследования динамических характеристик валопровода: 1-четырёхцилиндровый ДВС «ВАЗ-2108»; 2-маховик; 3-муфта; 4-токарно-винторезный станок; 5-стальной вал диаметром 40 мм с пределом прочности 540 МПа

Валовая линия состоит из коленчатого вала 4 ДВС 3 и валопровода 5, зажатого в патрон 2 токарного станка 1. Основная частота вращения 900 об/мин валовой линии задаётся с помощью вращения шпинделя токарного станка. Поджатием задней бабки 6 имитируется нагрузка, возникающая от инерционных и возмущающих сил гребного винта, на валопровод в реальных судовых условиях. Таким образом, при вращении экспериментальной валовой линии возникают крутильные колебания, изменяющиеся по гармоническому закону.

Основная частота вращения 900 об/мин валовой линии задаётся с помощью вращения шпинделя токарного станка. Поджатием задней бабки 6 имитируется нагрузка, возникающая от инерционных и возмущающих сил гребного винта, на валопровод в реальных судовых условиях. Таким образом, при вращении экспериментальной валовой линии возникают крутильные колебания, изменяющиеся по гармоническому закону.

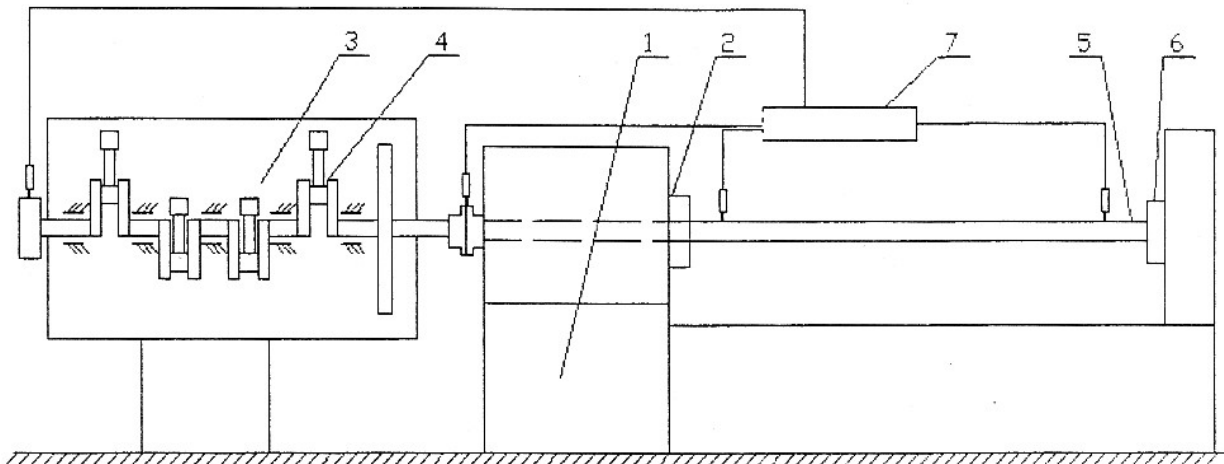


Рисунок 3 – Принципиальная схема экспериментальной установки: 1-токарно-винторезный станок; 2-патрон токарного станка; 3-ДВС; 4-коленчатый вал; 5-валопровод; 6-задняя бабка токарного станка; 7-автоматизированный комплекс

Датчик ТНК-1 устанавливался на свободном конце коленчатого вала. Измерения крутильных колебаний производились с коленчатым валом, не имеющим наработки и с коленчатым валом, имеющим наработку более 4000 ч. Обработка записи измерений выполнялась с помощью программы «Analyzer» электронно-вычислительного комплекса БАГС-4.

Определение максимального развития вынужденных колебаний осуществлялось при фиксированных числах оборотов. Запись колебаний производилась на протяжении нескольких секунд после непродолжительной работы стенда при заданном числе оборотов, которое устанавливалось автоматически и синхронно самим датчиком ТНК-1 или по тахометру.

Масштабы записи определяются программным методом. Отметчик времени работает от часов ПЭВМ и даёт отметки от 0,001 до 20 с. Отметчик оборотов работает от бесконтактного датчика, установленного на валу.

Сигнал датчика колебаний состоит из суммы двух составляющих: неравномерного вращения валовой линии как целого и крутильных колебаний различных форм. Частота колебаний равна частоте вынуждающего момента. Вал в месте измерения колеблется по закону

$$\omega_s = \omega_{cp} + \omega_0 \sin \omega t, \quad (1)$$

где ω_{cp} – средняя скорость вращения вала, рад/с;
 ω_0 – амплитудное значение скорости вращения вала, рад/с;
 ω – угловая частота колебаний скорости вращения, рад/с.
 Датчик повторяет вращение вала со скоростью

$$\omega_d = \frac{d_s}{d_d} (\omega_{cp} + \omega_0 t), \quad (2)$$

где d_s – диаметр испытуемого вала в месте измерения;
 d_d – диаметр диска датчика.

Сейсмическая масса в датчике вращается с постоянной средней скоростью

$$\omega_m = \frac{d_s}{d_d} \omega_{cp}. \quad (3)$$

Сигнал датчика пропорционален углу отклонения

$$e = k \Delta \phi, \quad (4)$$

где k – коэффициент пропорциональности.
 Амплитудное значение сигнала

$$e_0 = k \frac{d_s \omega_0}{d_d}. \quad (5)$$

Интерпретация осциллограммы начинается с измерения периода гармонического процесса

$$T^{uzm} = \frac{t}{z}, \quad (6)$$

где t – время наблюдения, с;
 z – количество полных колебаний.
 Измеренная частота колебаний

$$\omega^{uzm} = \frac{2\pi}{T^{uzm}}. \quad (7)$$

Измеренная амплитуда сигнала датчика

$$e^{uzm} = \frac{e^{\max} - e^{\min}}{2}, \quad (8)$$

где e^{\max} , e^{\min} – максимальная и минимальная амплитуда сигнала датчика.

Измеренная амплитуда скорости крутильных колебаний определяется выражением

$$A(\omega_0^{uzm}) = \frac{e_0 \omega d_s}{kd}, \quad (9)$$

и определяет интенсивность колебаний, характеризующую величину поочередного возрастания и убывания колеблющегося параметра во времени. Очевидно, что используемые характеристики интенсивности колебаний должны быть достаточно универсальными, чтобы давать их объективную количественную оценку независимо от детерминированного или случайного характера колебаний.

При исследовании детерминированных колебаний используются понятия пикового значения как абсолютного значения максимума или минимума колеблющегося параметра в рассматриваемом промежутке времени, а также размаха колебаний как разности между максимумом и минимумом колеблющегося параметра в этом промежутке. Для моногармонического процесса пиковое значение равно амплитуде, а размах – удвоенной амплитуде.

Реальные вибрации имеют случайный характер колебательного процесса. В этом случае пиковое значение и размах характеризуют лишь условный максимальный уровень, превышение которого имеет вероятностный характер.

Более предпочтительными являются неслучайные размерные характеристики интенсивности, которые получаются в результате осреднения величин колебательного процесса во времени. Одной из основных таких квадратичных величин является дисперсия процесса

$$\sigma_x^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} T^{-1} \int_0^T x^2 p(x) dx, \quad (10)$$

где T , $p(x)$ – соответственно время наблюдения и плотность распределения значений случайного централизованного процесса

$$x(t) = A(t) \cos[\omega t + \phi(t)].$$

Дисперсия является энергетической оценкой процесса, имеет размерность квадрата размерности измеряемого параметра и численно равна средней мощности колебательного процесса. Если известна спектральная плотность колебания $G_x(\omega)$ в диапазоне частот от ω_{\min} до ω_{\max} , то дисперсия этого колебания в указанном диапазоне определяется в соответствии с равенством Парсеваля [5]

$$\sigma_x^2 = \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} G(\omega) d\omega. \quad (11)$$

На рисунке 4 и 5 представлены записи колебаний, полученных при помощи автоматизированного комплекса БАГС-4 при исследовании крутильных колебаний валовой линии экспериментальной установки.

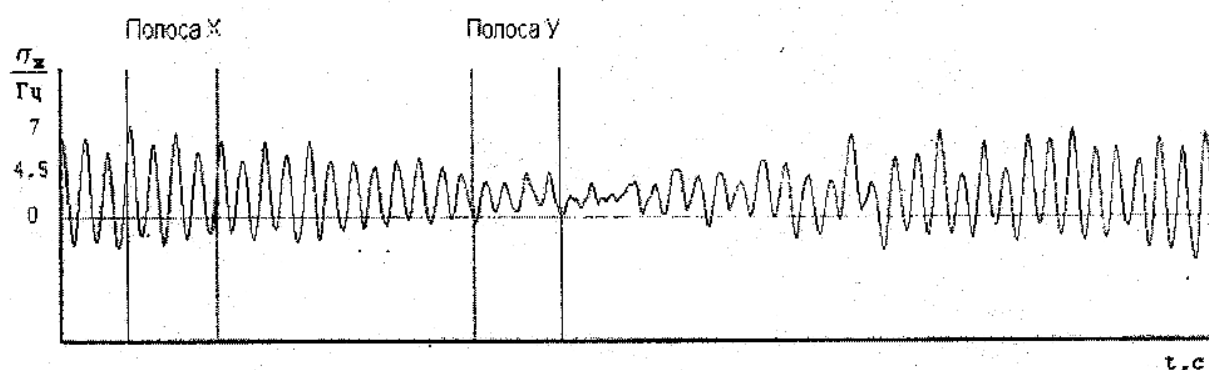


Рисунок 4 – Стендовые испытания валовой линии с коленчатым валом без наработки

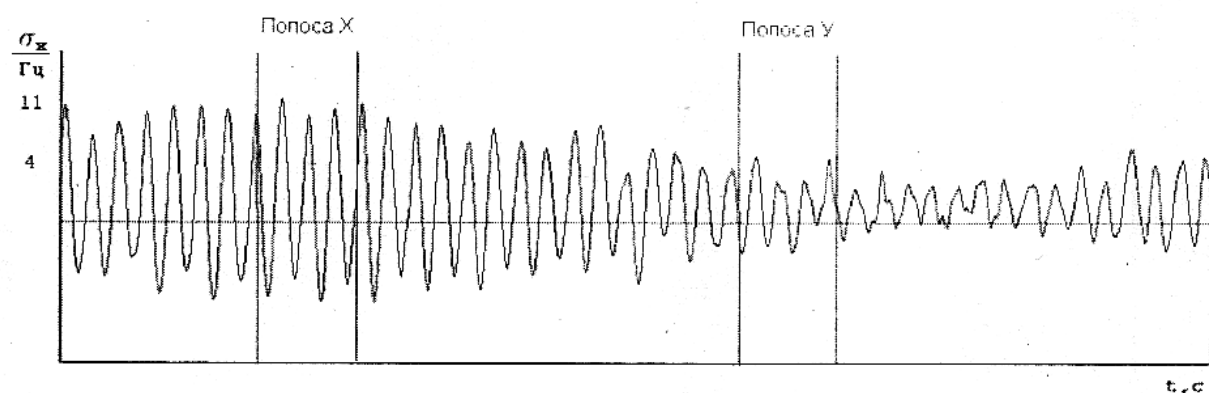


Рисунок 5 – Стендовые испытания валовой линии с коленчатым валом, имеющим наработку более 4000 ч

Как следует из анализа рисунков 4 и 5, у коленчатого вала с наработкой максимальные значения спектральной плотности значительно выше, чем у вала без наработки. При этом отношение максимального значения спектра в полосе x к максимуму значения y равно 2,78 (рисунок 4). Для коленчатого вала с наработкой (рисунок 5) это отношение равно 4,75.

Таким образом, в результате проведенных лабораторных экспериментальных исследований динамических характеристик валовых линий можно сделать вывод, что с увеличением наработки коленчатого вала его техническое состояние, связанное с усталостной прочностью, ухудшается. Это обстоятельство следует учитывать при разработке алгоритмов диагностирования и прогнозирования усталостной прочности коленчатого вала судового дизеля в условиях эксплуатации при помощи автоматизированного комплекса БАГС-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Глушков, С.П. Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для регистрации крутильных колебаний энергетических установок БАГС-4 / С.П. Глушков, А.М. Барановский, С.С. Глушков // Сиб. науч. вестн. -2006. -Вып.9. -С. 109-112.

- 2 Викулов, С.В. 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.
- 3 Глушков, С.С. Математическое моделирование динамических характеристик судовых валопроводов: дис. ... канд. техн. наук : 05.08.05 / Глушков Сергей Сергеевич; ФГОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. вод. трансп.». -Новосибирск: НГАВТ, 2009. -167 с.: ил.
- 4 Штельмах, С.В. Оценка технического состояния валовых линий эксплуатируемых судовых энергетических установок: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05 / Штельмах Сергей Викторович; ФГОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. вод. трансп.». -Новосибирск: НГАВТ, 2010. -135 с.
- 5 Бендат, Дж. Применение корреляционного и спектрального анализа / Дж. Бендат, А. Пирсон. -М.: Мир, 1983. -312 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *валовая линия, двигатель, крутильные колебания, техническое состояние, усталостная прочность, спектрограмма*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВАЛОВЫХ ЛИНИЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.А. Наприенко

MATHEMATICAL MODELING DINAMIC SYSTEM GROSS LINE SHIP POWER PLANT
«Novosibirsk state academy of water transport»
A.A. Naprienko

The topic of investigation is issues spectrology vibration processes. The paper examined in detail the forms vibration crankshaft combustion engine.

Keywords: mathematical modeling, ship power plant, combustion engine, vibration

Предметом исследования являются вопросы спектрального анализа колебательных процессов. Рассмотрены формы колебаний коленчатого вала ДВС.

В зависимости от конструктивного исполнения условий функционирования механическая колебательная система СЭУ может рассматриваться как система колеблющихся твердых тел. Наблюдаемые изменения координат точек твердых тел при кручении обуславливают соответствующие крутильные колебания. Вибродиагностика элементов конструкции СЭУ позволяет судить об эксплуатационных характеристиках, надежности, долговечности, а также качестве выпускаемых двигателей.

Вынужденные колебания ДВС обусловлены переменным воздействием кривошипно-шатунного механизма, процессом сгорания, потребителями механической энергии. Эти колебания особенности воздействия и свойства динамической системы в целом [2].

Обычно установленные амплитуды A вынужденных колебаний во времени $x(t)$ происходит по экспоненциальному закону. Отличительными признаками крутильных колебаний в устойчивой замкнутой динамической системе могут служить характерные зависимости амплитуды от [3]:

- формы колебаний;
- коэффициента поглощения, характеризующего демпфирование или рассеивание энергии при колебаниях;
- периода колебаний;
- совпадения с собственными частотами динамической системы;
- интенсивность инфракрасного излучения.

Все эти характеристики обладают явно выраженной зависимостью от амплитуды колебаний и изменяются в процессе циклического нагружения материала. Таким образом, могут быть использованы для характеристики процесса усталости, так как явление усталостного повреждения наблюдается только тогда, когда при циклическом нагружении возникают микропластические или пластические деформации, то есть неупругость [3].

В большинстве случаев требуемую информацию о динамических характеристиках СЭУ приходится извлекать из результатов обследования двигателей в течении его нормального функционирования. При этом оценка динамических характеристик выполняется только на основании анализа данных на выходе системы, то есть по колебательному отклику системы на случайное динамическое воздействие.

Основным способом определения собственных частот ДВС в этом случае становится спектральный анализ наблюдаемых колебаний. Спектральный анализ колебательных процессов на выходе динамической системы с резонансными свойствами позволяет получить резкие максимумы спектральной плоскости на резонансных частотах и на частотах действия интенсивных входных возмущений. Чтобы отличить пики спектра, вызванные собственными колебаниями, от интенсивных возмущений, целесообразно воспользоваться анализом поведения функции когерентности, характеризующую степень подобия (близости формы) участка спектра двух процессов.

Вынужденные колебания ДВС происходят одновременно на различных частотах действия мощных источников детерминированных возмущений (давление газов в цилиндрах, наддув, работа механизмов газораспределения и т.д.) и в окрестностях собственных частот колебаний конструкции вследствие избирательных свойств резонансной системы при действии на входе полного случайного спектра от большого числа источников возмущений примерно равной интенсивности (подшипников, редуктора и т.д.).

При этом колебания, вызванные источниками девиации частоты, проявляются в спектре в виде острых пиков на основных частотах и кратных гармониках, а колебания на собственных частотах характеризуются наличием широких и пологих максимумов спектральной плотности [2].

Рассмотрим важную особенность поведения фазового спектра колебаний в окрестностях собственной частоты, измеренных в различных точках конструкции ДВС.

Известно, что собственные колебания линейной, консервативной системы с n степенями свободы подчиняется следующему закону: гармонические колебания одной и той же частоты по всем координатам происходят в фазе или противофазе [1]. Из условия ортогональности собственных форм колебаний следует, что наибольшие смещения точек конструкции на различных формах колебаний, соответствующих различным собственным частотам, не могут быть все одного и того же знака. Если, например, все наибольшие смещения остальных форм должны иметь, по крайней мере, по одной перемене знака каждое.

Существует закономерность в распределении числа перемен знака наибольших смещений собственных форм, устанавливаемая теоремой об узлах собственных форм колебаний [1]: число перемен знака (число узлов) k -ой собственной формы (формы k -го порядка) равно $k - 1$. Теорема справедлива для форм колебаний линейных систем с конечным числом степеней свободы, в частности для поперечных колебаний стержней балок.

Рассмотрим подробнее колебания двух разнесенных точек на коленчатом валу ДВС, представленной на рисунке 1, между которыми на k -ой собственной форме колебаний будет расположен $k - 1$ узел.

На k -ой собственной частоте колебаний системы фазовый сдвиг между колебаниями этих точек определяются особенностями отклонений элементов конструкции, и составляет величину 0° либо 180° . На ближайшей меньшей собственной частоте фазовый сдвиг между колебаниями этих точек в соответствии с теоремой об узлах собственных форм колебаний изменится на 180° , то есть при переходе от одной собственной частоты к ближайшей другой произойдет скачкообразное изменение фазового сдвига между рассматриваемыми колебаниями.

Аналогичное явление будет наблюдаться при переходе к следующей соседней собственной частоте. График взаимного фазового спектра (рисунок 2а), содержащий $k - 1$ скачок величины угла, соответствующего колебаниям в фазе или противофазе, показывает, что исследуемая динамическая система ДВС имеет, как минимум, k собственных частот колебаний в заданном частотном диапазоне.

Разовый спектр колебания точек А и В коленчатого вала ДВС содержат два скачка (ри-

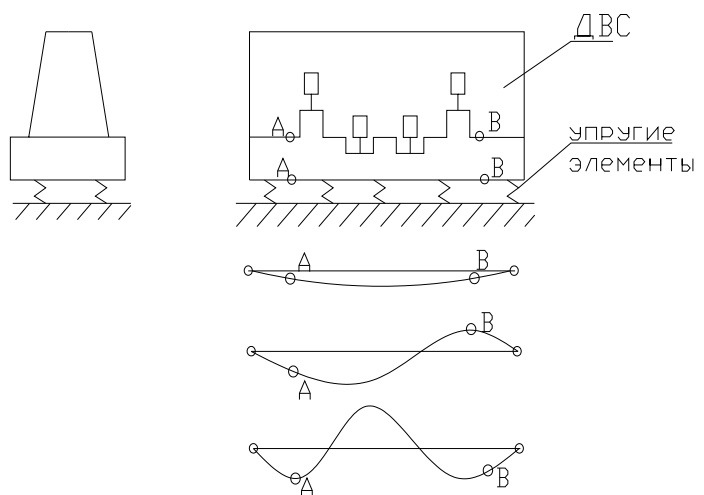


Рисунок 1 – Первые собственные формы крутильных колебаний коленчатого вала ДВС

сунок 2б).

Следовательно, исследуемая конструкция имеет три основные собственные частоты колебаний в рассматриваемом частотном диапазоне [2].

Теоретически крутильные колебания ДВС имеют бесконечно широкий спектр, так как огибающая спектра пересекает ось частот k , равном бесконечности, где k -порядковый номер гармоники. Но спектр с бесконечным числом гармоник – не более чем абстракция[2]. На практике мы всегда имеем дело с ограниченным спектром.

Обычно определяется активная полоса спектра, в пределах которого приемник и канал связи не должны изменять соотношений между гармониками. Для ДВС можно ограничиться гармониками $k = 12$, а активную полосу спектра колебаний коленчатого вала выбрать в диапазоне 5-1000 Гц. При таком ограничении спектра средне-квадратичное отклонение от исходного процесса равно 6%. Датчик, реагирующий на относительные перемещения

носового конца коленчатого вала в пределах неравномерности вращения, должен также иметь линейную частотную характеристику от 5-1000 Гц, только при этом условии сигнал с датчика, снимаемого показатели с системы, будет наименее искажен.

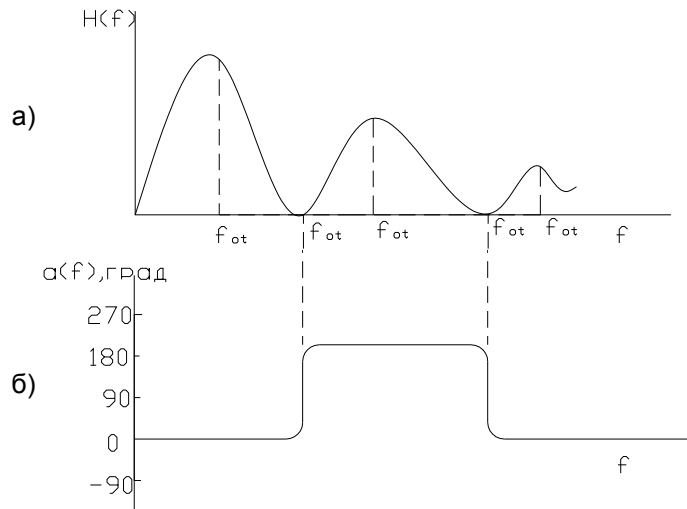


Рисунок 2 – динамические характеристики точек А и В, расположенных на коленчатом валу: а)-АЧХ; б)-фазовый спектр (f_{01}, f_{02} - частоты собственного резонанса и антирезонанса)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. -М.: Высш. шк., 1980. -408 с.
 2 Динамические характеристики ДВС / С.П. Глушков, С.С. Глушков, С.С. Савельев, А.В. Ярославцева // Сиб. науч. вестн. - Новосибирск, 2007. -Вып. X. -С. 164-167.
 3 Трощенко, В.Т. Усталость и неупругость металлов / В.Т. Трощенко. -Киев: Наук. думка, 1971. -286 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическое моделирование, судовая энергетическая установка, двигатель внутреннего сгорания, колебания
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Наприенко Анна Андреевна, ассистент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ДИЗЕЛЯ ПРИ ПУСКЕ

ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

Д.В. Романов, В.Н. Бондарь, А.А. Малоземов

MATHEMATICAL MODEL OF DIESEL ENGINE CYCLE AT START-UP

«Central motorcar repair plant No.15»

D.V. Romanov, V.N. Bondar, A.A. Malozemov

Mathematical model of the processes in the diesel engine combustion chamber at crankshaft rotation, based on system of mass and energy balance differential equations of gases and complemented by the expression for evaluation of gas leaks, are proposed.

Keywords: diesel engine, start-up, mathematical model

Предложена математическая модель процессов в камере сгорания дизеля при прокручивании коленчатого вала на основе система дифференциальных уравнений массового и энергетического баланса рабочего тела, дополненная выражением для определения утечек рабочего тела.

Дальнейшее совершенствование пусковых характеристик дизелей обусловлено развитием методов математического моделирования процесса пуска. В настоящее время значительное распространение получили облегченные (формальные и полуэмпирические) математические модели процессов в камере сгорания. Температура и давление рабочего тела (P_c и T_c) в конце такта сжатия на пусковых режимах определяется по тем же термодинами-

ческим зависимостям, что и под нагрузкой, но при этом дополнительно учитываются: уменьшение массы заряда за счет утечек через зазор между поршнем и цилиндром; влияние воздуха, поступающего через органы воздушного пуска; «неоптимальность» фаз газораспределения для пусковых режимов; существенная неравномерность частоты вращения коленчатого вала.

В простейшей форме эти зависимости имеют вид [1]:

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon_\delta^{m_1}; \quad (1)$$

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon_\delta^{m_1-1}, \quad (2)$$

где P_a, T_a – давление и температура рабочего тела в начале такта сжатия;

m_1 – показатель политропы сжатия;

ε_δ – действительная степень сжатия с учетом коэффициентов потеряннного объема (Ψ) и утечек заряда через поршневые кольца (ξ)

$$\varepsilon_\delta = \varepsilon \cdot \xi \cdot (1 - \Psi) + \Psi, \quad (3)$$

Ориентировочный расчет показателя политропы сжатия m_1 можно вести по эмпирической формуле, предложенной В.Л. Купершмидтом [2]

$$m_1 = 1,24 \cdot n^{0,015}, \quad (4)$$

где n – частота вращения коленчатого вала.

На пусковых режимах запаздывание закрытия впускного клапана после НМТ приводит к обратному выбросу части заряда. Потерю рабочего объема оценивают коэффициентом потеряннного объема Ψ

$$\Psi = \frac{\Delta V_h}{V_h}, \quad (5)$$

где ΔV_h – объем цилиндра, описываемый поршнем при ходе от НМТ до момента закрытия впускного клапана;

V_h – рабочий объем цилиндра.

Потерянный объем можно определить по формуле [1]:

$$\Delta V_h = \frac{\pi D^2}{4} R \left[(1 - \cos \phi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos \phi) \right], \quad (6)$$

где D – диаметр цилиндра;

R – радиус кривошипа;

λ – постоянная КШМ;

ϕ – угол закрытия впускного клапана после НМТ.

Для определения величины утечек заряда через поршневые кольца ξ В.Л. Купершмидт [2] предлагает следующее выражение

$$\xi = \frac{n^{0,32}}{\varepsilon^{0,65}}. \quad (7)$$

Величина ξ зависит от многих факторов: частоты прокручивания коленчатого вала, степени сжатия, времени между прокрутками, теплового состояния цилиндропоршневой группы. К концу сжатия скорость прокручивания коленчатого вала снижается и может быть намного меньше средней. С увеличением времени пребывания поршня около ВМТ возрастают утечки рабочего заряда через зазор между поршнем и цилиндром и теплоотдача к холодным поверхностям камеры сгорания.

Более точной зависимостью для определения утечки заряда через поршневые кольца является формула К. Энглиша [3]:

$$V_{ym} = 0,005 \frac{D^2 \cdot f \cdot P_c}{\sqrt[3]{i} \cdot n}, \quad (8)$$

где D – диаметр цилиндра двигателя, см;

i – число уплотнительных колец.

Утечка газов из цилиндра происходит через зазор между кольцом и канавкой, неплотности прилегания кольца к зеркалу цилиндра, замок кольца, клапаны газораспределительного механизма. Сложность конфигурации этих зазоров, неопределенность их изменения в процессе эксплуатации делает затруднительным точный расчет процессов истечения газа и

приводит к необходимости оперировать условной величиной эквивалентного зазора цилиндропоршневой группы d_p и его площадью f_H . Для качественного анализа влияния утечек можно использовать полуэмпирическое уравнение в дифференциальной форме

$$\frac{dG}{dt} = \frac{D \cdot f_H \cdot (P_i - P_k)}{16 \cdot k_1 \cdot \nu}, \quad (9)$$

где P_i, P_k – давление в цилиндре двигателя и картере, соответственно;

k_1 – коэффициент показывающий отношение сопротивления кольцевой щели к круглой;

ν – коэффициент кинематической вязкости рабочего тела;

d_p – эквивалентный зазор между поршнем и цилиндром.

Недостатками выражений (1)-(8) является то, что они позволяют оценить показатели рабочего тела в характерных точках индикаторной диаграммы, но не позволяют рассчитать промежуточные значения с учетом сложного нестационарного характера взаимодействия различных факторов.

Выражение (9) представлено в дифференциальной форме, лишено этих недостатков и может использоваться для расчета утечек воздуха дизеля с масломпрыском, если в понятие «эквивалентный зазор» включить влияние наличия масла на гидродинамические характеристики зазора. Однако оно должно использоваться в составе системы дифференциальных уравнений массового и энергетического баланса рабочего тела, а не с уравнениями (1) и (2). В уравнение (9) вместо температуры рабочего тела включена вязкость, которую в конечном итоге необходимо вычислять через температуру. Кроме того, не учитывается характер истечения газа из зазора (адиабатическое расширение).

Потери тепла зарядом в процессе сжатия определяются формулой теплоотдачи от газа к стенкам камеры сгорания (Ньютона)

$$\frac{dQ_w}{d\phi} = \alpha_T \cdot F \cdot (T - T_w) \cdot k \cdot \frac{1}{21600 \cdot n}, \quad (10)$$

где dQ_w/dt – элементарное количество энергии, подведенное к рабочему телу (или отведенное от него) в процессе теплообмена со стенками цилиндра;

α_T – коэффициент теплообмена со стенками камеры сгорания;

F – текущая площадь теплообмена;

T_w – средняя температура стенки камеры сгорания;

k – коэффициент перевода килокалорий в килоджоули.

Для определения коэффициента теплоотдачи в настоящее время предложено много формул, например, Вошни [4]

$$\alpha_T = 110 \cdot \frac{P^{0,8} \cdot w^{0,8}}{T^{0,53} \cdot D^{0,2}} + \varepsilon_n \cdot \sigma_0 \cdot \frac{(T/100)^4 - (T_w/100)^4}{T - T_w}, \quad (11)$$

где ε_n – степень черноты пламени;

σ_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, кДж/(м²·с·К);

w – суммарная скорость газов в цилиндре, м/с.

В период газообмена

$$w = 6,18 \cdot C_n, \quad (12)$$

где C_n – средняя скорость поршня.

В период сжатия

$$w = 2,28 \cdot C_n, \quad (13)$$

В настоящей работе предлагается математическая модель для описания процессов в цилиндре дизеля на основе системы дифференциальных уравнений массового и энергетического баланса рабочего тела [5] и уравнения состояния. Дифференциальная форма лучше отражает суть процессов в камере сгорания, учитывает физические свойства рабочего тела (теплоемкость, внутреннюю энергию) в зависимости от текущего состояния (температуры, давления).

Основой метода энергетического баланса является уравнение первого закона термодинамики в дифференциальной форме

$$dQ = dU + dL, \quad (14)$$

где dQ – изменение количества теплоты подведенной к рабочему телу;

dU – изменение внутренней энергии рабочего тела;

dL – работа совершаемая рабочим телом.

Изменение количества теплоты, подведенного или отведенного от рабочего тела за элементарный промежуток времени

$$dQ = Q_w + dQ_n - dQ_m, \quad (15)$$

где dQ_w – количество теплоты, подведенное или отведенное в процессе теплообмена со стенками цилиндра;

dQ_n – количество теплоты подведенное с воздухом, поступившим в цилиндр через впускные органы;

dQ_m – количество теплоты, отведенное с газами, вышедшими из цилиндра через выпускные органы.

Внутренняя энергия рабочего тела в произвольный момент времени

$$U = u'G', \quad (16)$$

где, u' – удельная внутренняя энергия воздуха;

G' – масса воздуха в цилиндрах.

Работа газов в цилиндре складывается

$$dL = dL_v + dL_n + dL_m, \quad (17)$$

где dL_v – работа перемещения поршня;

dL_n – работа перемещения воздуха, поступающего в цилиндр через впускные органы;

dL_m – работа перемещения газов, выходящих из цилиндра через выпускные органы.

Система уравнений энергетического и массового балансов в общем виде

$$\begin{cases} \frac{dT}{dt} = \left(\frac{dQ_w}{dt} + \frac{dQ_n}{dt} - \frac{dQ_m}{dt} - u' \frac{dG'}{dt} + \frac{dL}{dt} \right) \frac{1}{C_v \cdot G'}; \\ \frac{dG'}{dt} = \frac{dG'_n}{dt} - \frac{dG'_m}{dt} - \frac{dG'_p}{dt} + \frac{dG'_s}{dt}; \\ P = \frac{G' \cdot R \cdot T}{V}; \end{cases} \quad (18)$$

$$dG' = dG_n - dG_m - dG_p + dG_s, \quad (19)$$

где G'_n – количество воздуха, поступившего в цилиндр через впускной клапан;

G'_m – количество воздуха, вышедшего из цилиндра через выпускной клапан;

C_v – удельная изохорная теплоемкость воздуха;

dG_p – элементарное уменьшение массы рабочего тела вследствие утечки через зазор между поршнем и цилиндром;

dG_s – элементарное увеличение массы рабочего тела вследствие подачи сжатого воздуха.

Уравнения (18) и (19) составляют методологическую основу синтеза рабочего цикла двигателя при прокручивании коленчатого вала сжатым воздухом на пусковых режимах. Величина u' вычисляется на основании известных из термодинамики выражений

$$u' = c'_v(T) \cdot T, \quad (20)$$

где $c'_v(T)$ – удельная изохорная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К)

$$c'_v = 0.62706 + 2.776 \cdot 10^{-4} \cdot T - 5.411 \cdot 10^{-8} \cdot T^2. \quad (21)$$

Элементарный расход воздуха через проходные сечения клапанов и зазор между поршнем и цилиндром определяется из уравнения

$$\frac{dG}{d\phi} = \frac{\sqrt{1000}}{6} \frac{\mu f}{n} \frac{P_1}{\sqrt{RT_1}} \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_f}{P_1} \right)^{2/k} - \left(\frac{p_f}{P_1} \right)^{(k+1)/k} \right]}, \quad (22)$$

где μf – эффективное проходное сечение клапана (зазора);

P_1, T_1 – давление и температура газов перед сечением;

p_f – условное давление в минимальном сечении;

k – показатель адиабаты.

Для описания процесс течения газов в зазоре между поршнем и цилиндром предлагает-

ся определять величину μf по выражению

$$\mu f = \pi \cdot D_p \cdot d_p, \quad (23)$$

где d_p – эквивалентный зазор между поршнем и цилиндром, учитывающий геометрию поршня, гильзы цилиндра, поршневых колец и замков, наличие масла в зазоре и другие факторы которые невозможно оценить в рамках нульмерной математической модели.

Величина d_p может быть определена на основании результатов экспериментальных исследований.

Элементарное количество теплоты, подведенное к рабочему телу (или отведенное от него) в процессе теплообмена со стенками цилиндра, находится из уравнения теплоотдачи Ньютона (10) и зависимости Вошни (11). Так как при отсутствии сгорания радиационной составляющей теплообмена можно пренебречь, формула Вошни для режима прокручивания дизеля сжатым воздухом преобразуется к виду

$$\alpha_T = 110 \cdot \frac{P^{0,8} \cdot W^{0,8}}{T^{0,53} \cdot D_p^{0,2}}, \quad (24)$$

Поверхность теплообмена складывается из

$$F = F_n + F_a + F_u, \quad (25)$$

где F_n – площадь днища поршня;

F_a – площадь головки цилиндра;

F_u – текущая площадь поверхности втулки цилиндра.

Для определения расхода воздуха через органы впуска и выпуска, воздушного пуска, утечек в зазоре «поршень-цилиндр», подачи воздуха через систему воздушного пуска используется подмодель на основе уравнений (18)-(23). Механические связи между блоками алгоритма определяются из известных кинематических зависимостей. Гидравлические связи включают параметры состояния газа (температура и давление) и его расход через эти связи в дифференциальной форме. Интегральные показатели определяются методом Рунге-Кутты с постоянным шагом интегрирования – 0,0001 с либо другим численным методом. Длительность расчета выбирается исходя из того, что показатели рабочего тела стабилизируются после 2-го цикла.

Идентификация математической модели была выполнена с использованием результатов экспериментального исследования дизеля типа ЧН15/18 с воздушным пуском в «климатической камере» ОАО «НИИ Автотракторной техники». Исходные данные принимались исходя из действительных технических характеристик двигателя типа ЧН15/18. Значение эквивалентного зазора между поршнем и цилиндром (23) подбиралась исходя из экспериментально полученной величины максимального давления сжатия и составило 0,074 мм (действительный зазор между головкой поршня и цилиндра составляет 0,006-0,008 D, между юбкой и цилиндром – 0,001-0,002 D). Потери воздуха за цикл – 10%, что соответствует результатам экспериментальных исследований. Расчетные и экспериментальные индикаторные диаграммы, подтверждающие адекватность предложенной математической модели, приведены на рисунке.

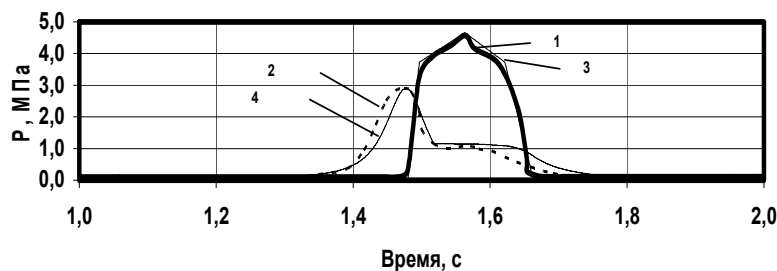


Рисунок – Индикаторные диаграммы дизеля при прокручивании двигателя типа ЧН15/18 воздухом: 1-давление воздуха на выходе из воздухораспределителя (эксперимент); 3-давление воздуха на выходе из воздухораспределителя (расчет); 2-давление в 1-ом левом цилиндре (эксперимент); 4-давление в цилиндре (расчет)

Достоинства предлагаемой математической модели заключаются в том, что: расчетная

система является полностью замкнутой, дифференциальной, что позволяет рассчитывать нестационарные режимы и процессы; в ходе расчета учитывается текущее состояние рабочего тела и частота вращения коленчатого вала; имеется возможность определения утечек рабочего тела через зазор между поршнем и цилиндром с учетом его геометрических параметров, наличия масла, текущих значений характеристик рабочего тела; математическая модель является универсальной, может быть использована для расчета дизелей с воздушной и электростартерной системами пуска, а также с пусковым двигателем, с различными средствами тепловой подготовки и облегчения пуска, как пусковых, так и рабочих режимов (при наличии подмодели горения топлива).

Разработанная на основе математической модели расчетная методика использована при совершенствовании пусковых характеристик дизелей Челябинского тракторного и Алтайского моторного заводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Николаенко, А.В. Теория, конструкция и расчет автотранспортных двигателей: учеб. пособие / А.В. Николаенко. -М.: Колос, 1984.
- 2 Купершмидт, В.Л. Влияние утечек заряда воздуха на процесс сжатия при пуске дизеля / В.Л. Купершмидт // Тракторы и сельхозмашины. -1968. -№12.
- 3 Энглиш, К. Поршневые кольца / К. Энглиш. -М.: Машиностроение, 1962.
- 4 Розенблит, Г.Б. Теплопередача в дизелях / Г.Б. Розенблит. -М.: Машиностроение, 1977.
- 5 Малозёмов, А.А. Математическая модель двигателя на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов / А.А. Малозёмов // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин: науч. вестн. ЧВВАКИУ. -Челябинск, 2006. -Вып.18. -С. 3-8.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *дизель, пуск, математическая модель*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Романов Дмитрий Викторович, зам. директора ОАО «15 центральный авторемонтный завод»*

Бондарь Владимир Николаевич, канд. техн. наук, научный консультант ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

Малозёмов Андрей Адиевич, канд. техн. наук, главный научный сотрудник ОАО «15 центральный авторемонтный завод»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ОАО «15 центральный авторемонтный завод»*

ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ 8Ч12/12 ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Новосибирское высшее военно-командное училище (военный институт) МО РФ
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Ю.Г. Максимейко, А.А. Новоселов, А.А. Мельберт

THE DEPENDENCE OF THE COMPOSITION OF THE EXHAUST GASES OF THE DIESEL ENGINE 8Ч12/12 ON THE TEMPERATURE OF THE ENVIRONMENT

«Novosibirsk higher military command school (military institute)»

«Altai state technical university named I.I. Polzunova»

Yu.G. Maksimeiko, A.A. Novoselov, A.A. Mel'bert

The influence of the ambient temperature on the quality of the purification of exhaust gases of the diesel engine 8Ч12/12 has been shown.

Keywords: exhaust gases, diesel, ambient temperature, catalytic converter

Показано влияние температуры окружающей среды на качество очистки отработавших газов дизельного двигателя 8Ч12/12.

Исследование влияния температуры окружающей среды на состав отработавших газов проводилось и ранее А.Л. Новоселовым, В.А. Вагнером, А.С. Лоскутовым и др. Однако, для того чтобы установить это влияние на состав газов конкретного дизеля с тем, чтобы в дальнейшем исследовать влияние температуры среды на качество очистки отработавших газов дизеля 8Ч12/12 (КамАЗ-740), в каталитическом нейтрализаторе были проведены испытания в период зимней эксплуатации при температуре окружающей среды $T_o = 241-264$ К, давлении $p_o = 758-762$ мм рт. ст., влажности $W_o = 75-85\%$, скорости ветра $V_o = 10-12$ м/с.

Особенностью проведения экспериментальных исследований являлось то, что отдельные характеристики (нагрузочные и скоростные) были сняты в различные дни, при различ-

ных атмосферных условиях, а полученные результаты приводились к нормальным условиям в соответствии с ГОСТ.

При температурах 241...248...264...273...298 К определены оценочные показатели вредных выбросов оксидов азота, углеводородов, оксида углерода и твердых частиц согласно методике, установленной стандартом, и проведено их сравнение с требованиями стандартов ЕЭК ООН ЕВРО-3, ЕВРО-4 и ЕВРО-5.

Перед проведением серии испытаний дизель предварительно прогревался до температуры охлаждающей жидкости $T_{охл} = 363$ К и температуры масла $T_m = 358$ К.

На рисунке 1а приведены графики изменения уровней вредных выбросов с отработавшими газами дизеля КамАЗ-740 при 2600 мин^{-1} по нагрузочной характеристике.

Следует отметить, что увеличение уровней выбросов оксидов азота по всей нагрузочной характеристике может быть объяснено увеличением коэффициента наполнения η_v свежим зарядом цилиндров и, при одинаковой цикловой подаче, увеличением коэффициента избытка воздуха. Что в свою очередь создает дополнительные условия для окисления азота в цилиндре дизеля.

Снижение уровней выбросов твердых частиц (ТЧ), углеводородов C_xH_y (условно СН), оксида углерода (СО) – это итог повышения коэффициента избытка воздуха за счет увеличения весового заряда воздуха в цилиндре.

Проведенные испытания по внешней скоростной характеристике, результаты которых приведены на рисунке 1б, показали, что при изменении температуры окружающей среды с 298 К до 241 К в диапазоне $1000\text{--}2600 \text{ мин}^{-1}$ при полной подаче топлива наблюдается снижение уровней выбросов с отработавшими газами углеводородов, оксида углерода и твердых частиц и увеличение выбросов оксидов азота.

Результаты определения влияния температуры окружающей среды с учетом поправки на скорость ветра на удельные оценочные показатели вредных выбросов приведены в таблице, где сведены данные для температур $T_o = 241\text{...}264\text{...}273\text{...}298$ К

Данные говорят о том, что без каталитического нейтрализатора нормы вредных выбросов с отработавшими газами дизеля не выполняются как ЕВРО-3, ЕВРО-4 и ЕВРО-5.

При этом обращают на себя внимание кратности превышения норм на выбросы оксидов азота и твердых частиц. Нормы ЕВРО-3 по выбросам оксида углерода и углеводородов при

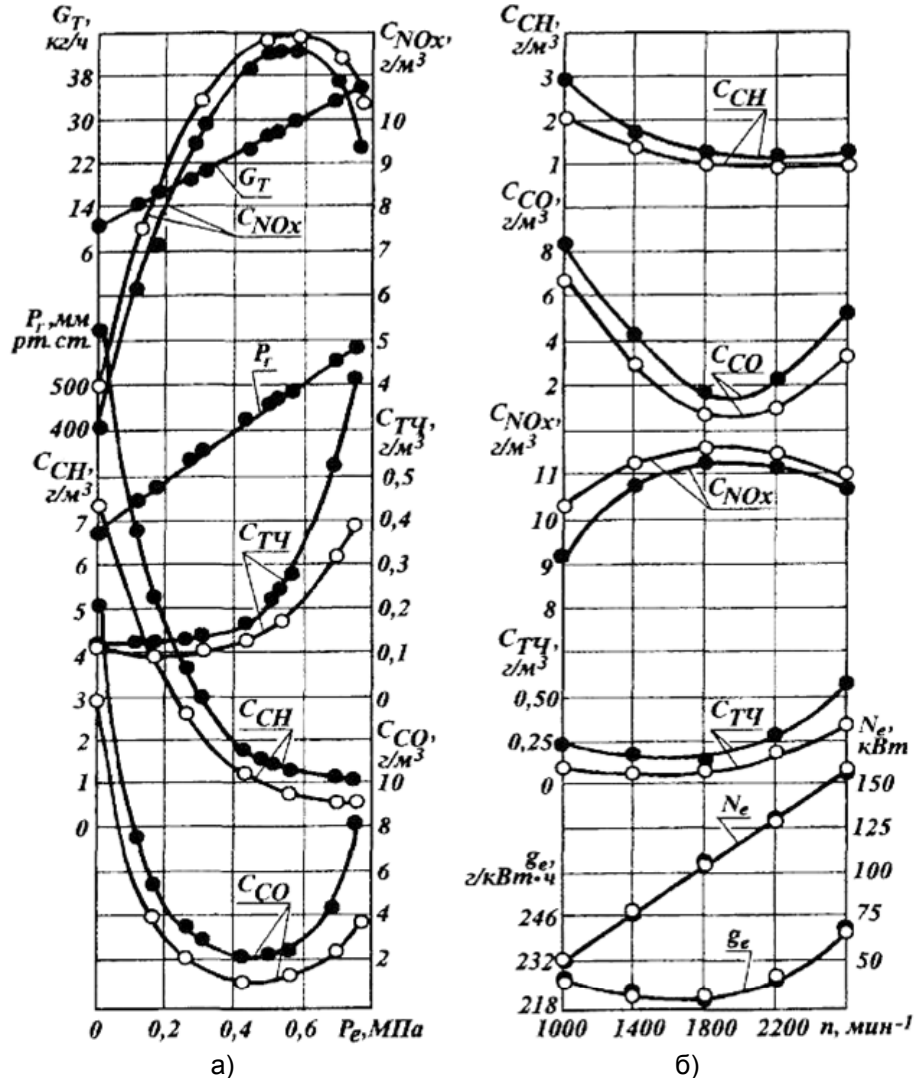


Рисунок 1 – Изменение уровней вредных выбросов с отработавшими газами дизеля КамАЗ-740: а)- по нагрузочной характеристике при 2600 мин^{-1} ; б)- по внешней скоростной характеристике (при температурах: •-298 К; о-241 К)

$T_o = 241$ К выполняются. Однако нормы выбросов оксидов азота и твердых частиц не выполняются.

Таблица – Влияние температуры окружающей среды на величины оценочных показателей вредных выбросов дизеля КамАЗ-740, г/(кВт·ч)

Оценочные показатели вредных выбросов	Допустимые уровни			Температуры окружающей среды, К				Кратность превышения норм ЕВРО-4/ЕВРО-5 при $T_o = 241$ К
	ЕВРО-3	ЕВРО-4	ЕВРО-5	241	264	273	298	
NO _x	5,00	3,500	2,00	9,24	8,98	8,77	8,63	2,64/4,62
СО	2,10	1,50	1,50	1,54	1,86	2,01	2,45	1,03/1,03
СН	0,60	0,46	0,25	0,28	0,34	0,52	0,69	0,61/1,12
ТЧ	0,10	0,02	0,02	0,14	0,19	0,20	0,22	7,00/7,00

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отработавшие газы, дизель, температура окружающей среды, каталитический нейтрализатор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Максимейко Юрий Григорьевич, доцент НВВКУ (ВИ) МО РФ
Новоселов Александр Александрович, канд. техн. наук, инженер ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
Мельберт Алла Александровна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630117, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, НВВКУ (ВИ) МО РФ
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОСТРОЕНИЕ ЯДРА СЕЧЕНИЯ, СОПРЯЖЕННОГО С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.С. Инкижинов

CONSTRUCTION OF THE CORE SECTION, COUPLED WITH THE ELLIPTIC CURVE
«Novosibirsk state academy of water transport»
N.S. Inkizhinov

The paper presents the formulas for the coordinates of the core section corresponding to a circular arc cross-section. Two examples that illustrate the case of coupling points of the nucleus cross-section of an elliptic curve.

Keywords: nucleus cross section, the arc of a circle, the parameters are the principal central axis, Cartesian coordinates, the elliptic curve

Приведены формулы для координат ядра сечения, соответствующего дуге окружности поперечного сечения. Рассмотрены два примера, иллюстрирующие случаи сопряжения точек ядра сечения с эллиптической кривой.

Рассмотрим применение формул для координат ядра сечения, когда поперечное сечение стержня ограничено окружностью, а ядро сечения совпадает с эллиптической кривой

$$u_{я} = -\frac{i_v^2 \cdot \cos \phi}{a \cdot \cos \phi + b \cdot \sin \phi + r}, \quad (1)$$

$$v_{я} = -\frac{i_u^2 \cdot \sin \phi}{a \cdot \cos \phi + b \cdot \sin \phi + r}, \quad (2)$$

Эти формулы в [1], представлены в параметрическом виде, где параметром является угловая координата ϕ радиуса r окружности. На поясняющем рисунке 1 изображена дуга 1-2 окружности, являющаяся частью контура поперечного сечения внецентренно сжатого (растянутого) стержня, а также кривая 3-4 ядра сечения, соответствующая дуге 1-2. Кроме того на рисунке 1 показаны:

- Q – центр дуги окружности 1-2 с координатами a, b ;
- C – центр площади поперечного сечения;

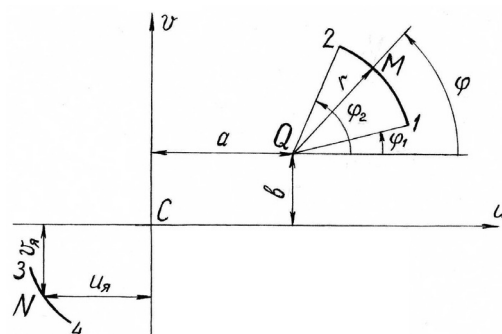


Рисунок 1 – Дуга 1-2 окружности и кривая 3-4 ядра сечения

u, v – главные центральные оси координат поперечного сечения;

$u_{я}, v_{я}$ – координаты ядра сечения.

Иными словами, точке M , принадлежащей дуге 1-2 окружности с координатами r, ϕ , соответствует точка N ядра сечения с координатами $u_{я}, v_{я}$.

В [2] доказывается, что ядро сечения принимает форму эллипса, если центр Q дуги 1-2 окружности принадлежит какой-либо главной центральной оси u или v . Покажем это на двух примерах, иллюстрирующих частный случай 2) [2], когда $a = 0$, а b лежит в промежутке $(0, r]$ (рисунок 2 и 3).

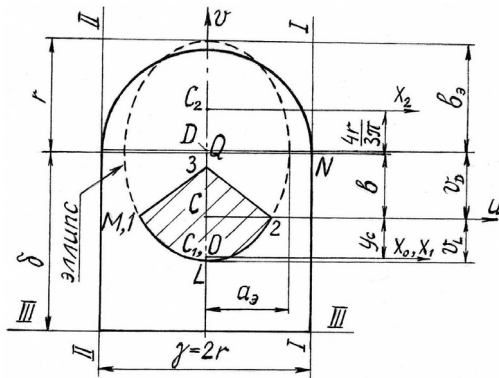


Рисунок 2 – Ядро сечения касается эллипса $b < r$

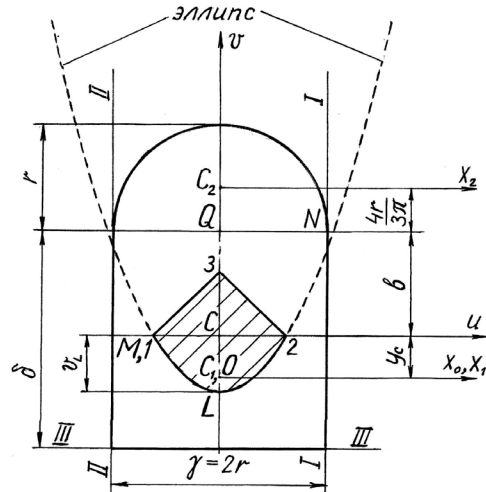


Рисунок 3 – Предельный случай: полуоси эллипса уходят в бесконечность $b = r$

Геометрические характеристики сечения (в долях r). Начальные оси – x_0, v . Сечение состоит из двух элементов: прямоугольника и полукруга. Площади элементов:

$$A_1 = \gamma \cdot \delta = 2r\delta; \quad A_2 = \frac{\pi \cdot r^2}{2}.$$

Площадь сечения

$$A = A_1 + A_2 = 2r\delta + \frac{\pi \cdot r^2}{2} = \frac{4r\delta + \pi \cdot r^2}{2}.$$

Ординаты центров площадей элементов:

$$y_{c1} = 0; \quad y_{c2} = \frac{\delta}{2} + \frac{4}{3} \cdot \frac{r}{\pi}.$$

Ордината центра площади сечения

$$y_c = \frac{\sum A_i y_{ci}}{A} = \frac{2r\delta \cdot 0 + \frac{\pi r^2}{2} \cdot \left(\frac{\delta}{2} + \frac{4}{3} \cdot \frac{r}{\pi}\right)}{\frac{4r\delta + \pi r^2}{2}} = \frac{r(3\pi\delta + 8r)}{6(4\delta + \pi r)}.$$

Иначе

$$y_c = \frac{\delta}{2} - b.$$

Приравниваем правые части двух последних уравнений и найдем δ

$$\frac{r(3\pi\delta + 8r)}{6(4\delta + \pi r)} = \frac{\delta - 2b}{2}.$$

После преобразований получим квадратное уравнение

$$6\delta^2 - 12b\delta - 3\pi br - 4r^2 = 0.$$

Отсюда

$$\delta_{1,2} = \frac{12b \pm \sqrt{144b^2 + 4 \cdot 6(3\pi br + 4r^2)}}{12} = b \pm \sqrt{b^2 + \frac{\pi}{2} br + \frac{2}{3} r^2}.$$

Так как $\delta > 0$, то

$$\delta = b + \sqrt{b^2 + \frac{\pi}{2}br + \frac{2}{3}r^2} \quad \text{или} \quad \delta = b \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\pi}{2} \cdot \frac{r}{b} + \frac{2}{3} \left(\frac{r}{b} \right)^2} \right].$$

Главные центральные моменты сечения

$$\begin{aligned} I_u &= \frac{\pi r^4}{8} - \frac{\pi r^2}{2} \left(\frac{4r}{3\pi} \right)^2 + \frac{2r\delta^3}{12} + 2r\delta \left[\frac{r(3\pi\delta + 8r)}{6(4\delta + \pi r)} \right]^2 + \frac{\pi r^2}{2} \left(b + \frac{4r}{3\pi} \right)^2 = \\ &= \frac{9\pi^2 - 64}{72\pi} r^4 + \frac{r\delta^3}{6} + \frac{r^3\delta}{18} \left(\frac{3\pi\delta + 8r}{4\delta + \pi r} \right)^2 + \frac{\pi r^2}{2} \left(\frac{3\pi b + 4r}{3\pi} \right)^2; \\ I_v &= \frac{\delta(2r)^3}{12} + \frac{\pi r^4}{8} = \frac{r^3(16\delta + 3\pi r)}{12}. \end{aligned}$$

Квадраты радиусов инерции

$$\begin{aligned} i_u^2 &= \frac{I_u}{A} = \frac{\frac{9\pi^2 - 64}{72\pi} r^4 + \frac{r\delta^3}{6} + \frac{r^3\delta}{18} \left(\frac{3\pi\delta + 8r}{4\delta + \pi r} \right)^2 + \frac{\pi r^2}{2} \left(\frac{3\pi b + 4r}{3\pi} \right)^2}{\frac{4r\delta + \pi r^2}{2}} = \\ &= \frac{\left(9\pi - \frac{64}{\pi} \right) r^3 + 12\delta^3 + 4r^2\delta \left(\frac{3\pi\delta + 8r}{4\delta + \pi r} \right)^2 + \frac{4}{\pi} r(3\pi b + 4r)^2}{36(4\delta + \pi r)}; \\ i_v^2 &= \frac{I_v}{A} = \frac{r^3(16\delta + 3\pi r)}{12 \frac{4r\delta + \pi r^2}{2}} = \frac{r^2(16\delta + 3\pi r)}{6(4\delta + \pi r)}. \end{aligned}$$

Координаты центра D эллипса получим с помощью формул

$$u_D = i_v^2 \frac{a}{\sqrt{r^2 - a^2} (b + \sqrt{r^2 - a^2})}; \quad v_D = i_u^2 \frac{b}{\sqrt{r^2 - b^2} (a + \sqrt{r^2 - b^2})}.$$

При $a = 0$

$$u_D = 0; \quad v_D = i_v^2 \frac{b}{r^2 - b^2}.$$

Запишем координату v_L экстремальной точки L ядра сечения, используя формулу

$$v_L = -i_u^2 \frac{1}{b + \sqrt{r^2 - a^2}}.$$

При $a = 0$

$$v_L = -i_u^2 \frac{1}{b + r}.$$

Длины полуосей эллипса определяются из уравнений

$$\begin{aligned} a_3 &= i_v^2 \frac{a\sqrt{r^2 - b^2} + b\sqrt{r^2 - a^2} + r^2}{\sqrt{r^2 - a^2} (a + \sqrt{r^2 - b^2}) (b + \sqrt{r^2 - a^2})}; \\ b_3 &= i_u^2 \frac{a\sqrt{r^2 - b^2} + b\sqrt{r^2 - a^2} + r^2}{\sqrt{r^2 - b^2} (a + \sqrt{r^2 - b^2}) (b + \sqrt{r^2 - a^2})}. \end{aligned}$$

При $a = 0$

$$a_3 = i_v^2 \frac{1}{\sqrt{r^2 - b^2}}; \quad b_3 = i_u^2 \frac{r}{r^2 - b^2}.$$

Уравнение эллипса по формуле (5) [1] при $u_D = 0$

$$\left(\frac{u_{\text{я}}}{a_3} \right)^2 + \left(\frac{v_{\text{я}} - v_D}{b_3} \right)^2 = 1.$$

Точка M ядра сечения соответствует точке N сечения, лежащей на границе между касательной I-I и дугой окружности. Поэтому ее координаты можно определять по известным из сопротивления материалов формулам

$$u_{\pi} = -\frac{i_v^2}{a_u}; \quad (3)$$

$$v_{\pi} = -\frac{i_u^2}{a_v}, \quad (4)$$

соответствующим касательной I-I, где $a_u = r$, $a_v = \infty$. Те же координаты можно определить по (1), (2), соответствующим точке N дуги окружности.

В нашем примере $a = 0$, $\phi = 0^\circ$, поэтому по формулам (3) и (4)

$$u_M = -\frac{i_v^2}{r}; \quad v_M = -\frac{i_u^2}{\infty} = 0,$$

или по формулам (1), (2)

$$u_M = -i_v^2 \frac{\cos 0}{0 \cdot \cos 0 + b \sin 0 + r} = -\frac{i_v^2}{r};$$

$$v_M = -i_u^2 \frac{\sin 0}{0 \cdot \cos 0 + b \sin 0 + r} = 0.$$

Результаты одинаковые.

Тангенс угла наклона касательной к точке M эллипса определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_M = -\left(\frac{b_3}{a_3}\right)^2 \frac{u_M - u_D}{v_M - v_D} = -\left(\frac{b_3}{a_3}\right)^2 \frac{u_M - 0}{0 - v_D} = \left(\frac{b_3}{a_3}\right)^2 \frac{u_M}{v_D}.$$

Используем формулы рассматриваемого примера для двух значений b :

1 $b = 0,6r$

$$y_c = 0,401631r; \quad \delta = 2,003262r; \quad i_u^2 = 0,671350r^2; \quad i_v^2 = 0,619727r^2;$$

$$v_D = 0,629391r; \quad v_L = -0,419594r; \quad a_3 = 0,774658r; \quad b_3 = 1,048985r;$$

$$u_M = -0,619727r; \quad \operatorname{tg} \alpha_M = -1,805501.$$

Находим точку 3 ядра сечения общепринятым способом. Касательная III-III.

$$a_u = \infty; \quad a_v = -(\delta - b) = -(2,003262r - 0,6r) = -1,403262r;$$

$$u_{\pi} = -\frac{i_v^2}{a_u} = -\frac{0,619727r^2}{\infty} = 0; \quad v_{\pi} = -\frac{i_u^2}{a_v} = -\frac{0,671350r^2}{-1,403262r} = 0,478421r.$$

На рисунке 2 изображено поперечное сечение при $b = 0,6r$ с нанесенным на него ядром сечения 1-L-2-3-1. На этом рисунке штриховыми линиями показан также эллипс, на который накладывается кривая 1-L-2 ядра сечения.

2 $b = r$ (предельный случай)

$$y_c = 0,399648r; \quad \delta = 2,799295r; \quad i_u^2 = 1,094505r^2; \quad i_v^2 = 0,630150r^2;$$

$$v_D = i_u^2 \frac{b}{r^2 - b^2} = i_u^2 \frac{r}{r^2 - r^2} = \infty; \quad v_L = -0,547253r;$$

$$a_3 = i_v^2 \frac{1}{\sqrt{r^2 - b^2}} = i_v^2 \frac{1}{\sqrt{r^2 - r^2}} = \infty; \quad b_3 = i_u^2 \frac{r}{r^2 - b^2} = i_u^2 \frac{r}{r^2 - r^2} = \infty; \quad u_M = -0,630150r;$$

$$\frac{a_3}{b_3} = \frac{i_v^2 \frac{1}{\sqrt{r^2 - b^2}}}{i_u^2 \frac{r}{r^2 - b^2}} = \frac{i_v^2 \sqrt{r^2 - b^2}}{i_u^2 r} = \frac{i_v^2 \sqrt{r^2 - r^2}}{i_u^2 r} = 0;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_M = -\left(\frac{b_3}{a_3}\right)^2 \frac{u_M}{-v_D} = \left(\frac{b_3}{a_3}\right)^2 \frac{u_M}{v_D} = \left(\frac{i_u^2 \frac{r}{r^2 - b^2}}{i_v^2 \frac{1}{\sqrt{r^2 - b^2}}}\right)^2 \frac{-\frac{i_v^2}{v}}{i_u^2 \frac{b}{r^2 - b^2}} =$$

$$= -\frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{r}{b} = -\frac{i_u^2}{i_v^2} \cdot \frac{r}{r} = -\frac{i_u^2}{i_v^2} = -\frac{1,094505r^2}{0,630150r^2} = -1,736895;$$

$$\alpha_M = -60,069^\circ.$$

Касательная III-III

$$a_u = \infty; \quad a_v = -(\delta - b) = -(2,799295r - r) = -1,799295r;$$

$$u_{\text{я}} = -\frac{i_v^2}{a_u} = -\frac{0,630150 r^2}{\infty} = 0; \quad v_{\text{я}} = -\frac{i_u^2}{a_v} = -\frac{1,094505 r^2}{-1,799295 r} = 0,608297 r.$$

Расчетные величины, полученные в этом случае, используем при построении ядра сечения, изображенного на поперечном сечении (рисунок 3). Ветви эллипса, на который накладывается кривая 1-L-2 ядра сечения, уходят в бесконечность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инкижинов, Н.С. Определение координат ядра сечения в параметрическом виде для поперечного сечения стержня с дугой окружности / Н.С. Инкижинов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. - С. 272-274.
- 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.
- 3 Инкижинов, Н.С. Исследование формы ядра сечения для стержня с круглой частью поперечного сечения / Н.С. Инкижинов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 218-220.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ядро сечения, дуга окружности, параметры, главные центральные оси, декартовы координаты, эллиптическая кривая*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Инкижинов Николай Сергеевич, ст. преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

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

ТЕРМООБРАБОТКА ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПЛОСКИХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО
«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

К.В. Хацевский, Т.В. Гоненко

THERMAL TREATMENT OF PLASMA-SPRAYED COATING OF FLAT ELECTROHEATING SYSTEMS

Omsk institute of water transport, branch «Novosibirsk state academy of water transport»
K.V. Khatsevskiy, T.V. Gonenko

The methods of the improvement physico-mechanical characteristic of a coatings covered by plasma of a flat electroheating are considered in this article and the motivation availability of plasma jet heat treatment these coatings is given.

Keywords: plasma spraying, flat electroheater, reflowed surface, adhesion strength, thermal treatment

Рассматриваются методы улучшения физико-механических характеристик плазменно-напыленных покрытий плоских электронагревателей и дано обоснование перспективности плазменной термообработки этих покрытий.

Плазменные электротехнологии находят все более широкое применение в различных областях техники. С помощью плазменных технологий могут быть получены покрытия различного состава с широким диапазоном свойств [1, 2]. Преимуществом плазменной технологии является возможность формирования нагревательного элемента как на плоской, так и на цилиндрической поверхностях. Используемые изоляционные и резистивные материалы обеспечивают плазменно-напыленным электронагревателям широкий температурных диапазон применимости. Возможность распределения нагревательного элемента практически по всей площади подложки повышает равномерность нагрева. Это, а также малое термическое сопротивление между нагревательным слоем и подложкой, позволяет снизить тепловую инерционность, повысить удельную поверхностную мощность и надежность в работе. Возможность создания покрытий из водостойких материалов делает плазменно-напыленные нагреватели перспективными для применения в электрических нагревательных установках различного назначения.

Нагревательные элементы, полученные методом плазменного напыления, имеют высокую механическую прочность в широком диапазоне рабочих температур, высокую надежность, значительные пределы изменения удельной мощности. Важнейшее их преимущество - технологичность изготовления при серийном производстве.

Несмотря на определенные успехи, достигнутые в повышении качества газотермических покрытий и, главным образом нанесенных с помощью плазмотронов [3], напыленные покрытия сохраняют основные, присущие им недостатки. В первую очередь это относится к адгезионной прочности и пористости. И если недостаточная адгезионная прочность может привести к разрушению покрытий на деталях, работающих в условиях ударных нагрузок, то высокая пористость может вызвать отслоение любого покрытия, так как в этом случае воз-

можно окисление как самого покрытия, так и подложки.

Основные характеристики покрытий при высокотемпературном напылении (адгезия, когезия, пористость, износостойкость и др.) определяются не только выбором материалов и разработкой составов покрытий, но и многими теплофизическими и технологическими аспектами процесса напыления.

К основным недостаткам покрытий следует отнести их низкую адгезионную прочность и высокую пористость. Одной из причин, приводящих к указанным недостаткам, является то, что температура и скорость струй плазмы распределены по сечению неравномерно, вследствие чего частицы, приходящие на поверхность, имеют различные значения температуры и скорости.

Исследования поперечного сечения покрытия, нанесенного самофлюсующимся порошком ПГ-ХН80СР3 методом плазменного напыления показало, что часть частиц приходит на поверхность основы в непроплавленном состоянии и удерживается на ней только за счет закрепления пластичными частицами. Кроме того, даже у полностью расплавленных частиц сварные участки составляют часть площади контакта «частица-основа» и «частица-частица». Таким образом, формирование покрытия последовательной укладкой множества частиц неизбежно приводит к появлению микропустот, особенно на их стыках. Покрытие формируется в атмосфере, поэтому микрополости заполняются газом, что ухудшает свойства межслойных границ, имеющих наибольшую насыщенность адсорбированными газами. Взаимодействие с атмосферой, адсорбция газов и оседание пылевидных фракций существенно ухудшают свойства межслойной зоны покрытия.

В практике газотермического нанесения покрытий широкое распространение получила последующая за напылением упрочняющая обработка напыленного слоя.

В первую очередь данная обработка применяется для увеличения адгезионной и когезионной прочности покрытий, снижения пористости, выравнивания микро- и макроструктуры. Известны несколько методов высокотемпературного упрочнения напыленных покрытий: спекание, пропитка с термообработкой, пластическое деформирование, оплавление. Самым распространенным способом упрочнения покрытий является их оплавление.

Помимо ликвидации пористости, удаление окислов, оплавление покрытия ведет к значительному увеличению взаимной диффузии элементов покрытия и основы, что повышает адгезию и, соответственно, прочность покрытия. Если у неоплавленных покрытий адгезионная прочность не превышает 3-5 кгс/мм², то после оплавления этот показатель возрастает до 28-40 кгс/мм² и более. Наряду с этим, при оплавлении на различных режимах могут изменяться физико-механические свойства покрытия вследствие изменения структуры оплавленного сплава.

Таким образом, покрытие, полученное напылением с последующим оплавлением, в отличие от неоплавленного, способно выдержать значительные механические нагрузки: изгиб, удар и т.д.

Оплавление покрытий производят различными способами, как путем нагрева одновременно всей обрабатываемой поверхности (например, в печах, соляных ваннах), так и с помощью локального нагрева концентрированными источниками энергии (например, оплавление лучом лазера, электронным пучком, электроконтактным нагревом, электрической дугой, микроплазменным источником, пламенем газовой горелки, плазменной струей).

Оплавление покрытий в печах можно производить в восстановительной атмосфере, создаваемой газами при сгорании древесного угля или аммиаком, либо в нейтральной атмосфере, для образования которой используют водород или азот. Также весьма эффективно, с точки зрения качества покрытий, использование вакуумной печи. По данным, приведенным в работе, износостойкость покрытий, оплавленных в вакуумной печи, превышает износостойкость покрытий, оплавленных с помощью газовой горелки. Наилучшие характеристики получены после термообработки в печи в течении одного часа при температуре 1303 К (ПГ-ХН80СР2), 1293 К (ПГ-ХН80СР3), 1263 К (СНГН). По данным после термообработки в печи с неокислительной атмосферой получено практически беспористое покрытие с адгезионной прочностью, превышающей 15 кгс/мм².

Довольно распространенным методом оплавления является высокочастотный индукционный нагрев. В этом случае в зависимости от геометрии, размеров индуктора и обрабатываемой детали нагрев осуществляется либо одновременно всей поверхности, либо определенных участков. Условия проплавления представляют собой соответствующее сочетание времени нагрева, потребляемой мощности и формы индуктора.

С точки зрения физико-механических характеристик получаемого композита «основа-покрытие» в целом, а также из экономических показателей процесса наиболее рациональным и эффективным является использование для нагрева концентрированных источников энергии, так как в этом случае не происходит значительного разогрева всей массы обрабатываемой детали.

Лазерная обработка покрытий уменьшает количество пор и окислов, существенно увеличивает адгезионную прочность покрытий. За счет изменения параметров луча может регулироваться глубина проплавления слоя, она может быть равна толщине предварительно нанесенного слоя, может превосходить ее и расплавлять часть основы. Высокая скорость нагрева при лазерном оплавлении позволяет сохранять исходную (в том числе мелкозернистую) структуру материала покрытия.

Оплавление покрытий пучком электронов, имеющих длину пробега в облучаемом материале равную или несколько большую толщины необходимого слоя расплавления, позволяет повысить допускаемую плотность мощности в пучке, скорость и производительность оплавления, а также исключить закипание расплава и вынос его из зоны нагрева. Покрытие, получаемое в этом случае, обладает высокой однородностью и хорошей адгезионной прочностью. Оплавление пучком электронов проводят как в специальных вакуумных камерах, так и в атмосферном воздухе.

Избежать перемешивания покрытия с основой можно при использовании микроплазменного нагрева. Процесс микроплазменного оплавления характеризуется незначительной зоной термического влияния (до 300 мкм). При этом микроплазменная струя интенсивно нагревает только покрытие. Существенным недостатком микроплазменного нагрева является его низкая производительность.

Самым распространенным способом оплавления является оплавление с помощью ацетилено-кислородных горелок. Нагрев осуществляют нейтральным пламенем. Данный способ привлекает простотой и доступностью оборудования и самой технологии.

Оплавление с помощью лазерного луча и электронного пучка позволяет получить высокие физико-механические характеристики напыленных покрытий при сохранении исходной структуры материала основы. Но большим недостатком данных методов является сложность и высокая стоимость используемого оборудования. При этом работа с электронно-лучевыми установками требует специальных мер по защите обслуживающего персонала. Что касается технико-экономических показателей процессов обработки лучом лазера и электронным пучком, то и здесь имеются определенные недостатки. В первую очередь, это относится к КПД нагрева поверхности. По данным при длине волны $10 \cdot 10^{-6}$ м, отвечающей наиболее мощным СО₂-лазерам, для большинства компактных металлов коэффициент отражения равен 0,85-0,95, то есть основная доля излучения не используется при нагреве. В работах, посвященных исследованию процессов обработки материалов электронными пучками, отмечается, что из-за отражения электронов от поверхности отношение мощности, поглощенной материалом, к исходной мощности пучка составляет для железа (стали) 0,25-0,3 и лишь для элементов с большими атомными номерами, например, для вольфрама, достигает 0,5. Таким образом, и в данном случае имеет место существенная потеря энергии.

Также необходимо отметить, что при использовании лазерных и электронно-лучевых установок возникают проблемы с обработкой деталей со сложной геометрией. Таким образом, в связи с отмеченными выше недостатками, обработка покрытий лучом лазера или электронным пучком на практике применяется крайне редко.

Недостатком индукционного нагрева является необходимость в каждом отдельном случае изготавливать индуктор в соответствии с конфигурацией изделия. Кроме того, при использовании индукционного нагрева сложно обрабатывать покрытия из тугоплавких соединений на немагнитных сплавах.

К недостаткам электроконтактного нагрева следует отнести трудность обработки деталей со сложной геометрией и невозможность обработки неэлектропроводных материалов.

Что касается упрочнения покрытий пропиткой с последующей термообработкой, то в данной технологии предусматривается объемный нагрев всего изделия, а, следовательно, имеют место недостатки, присущие оплавлению покрытий в печах.

Недостатки использования для оплавления дуговой сварки в инертной среде и микроплазменного нагрева отмечены выше.

С точки зрения технологичности процесса из применяемых методов наиболее рационален плазменный способ оплавления. В данном случае возможна обработка любых материа-

лов и не требуется дополнительное дорогостоящее оборудование.

Кроме того, использование в качестве концентрированного источника энергии плазменной струи позволяет в широких пределах управлять температурно-временными параметрами процесса обработки напыленных покрытий. А возможность использования в качестве плазмообразующей среды недорогих и недефицитных газов, вплоть до воздуха, делает этот метод особенно привлекательным.

Но существенным недостатком плазмоструйного нагрева является то, что существующие напылительные плазмотроны имеют высокую скорость истечения плазменной струи (рассчитаны на работу в турбулентном режиме). Таким образом, при работе на малой дистанции из-за высокого давления плазменной струи на напыленную поверхность может происходить нарушение слоя покрытия, при увеличении дистанции очень сложно прогреть обрабатываемую поверхность, так как у напылительных плазмотронов из-за высокого уровня турбулентности на срезе выходного электрода протяженность высокоэнергетической зоны струи плазмы невелика.

В связи с этим, представляется перспективным оплавление покрытий высокоэнтальпийной ламинарной струей плазмы, имеющей небольшое давление на обрабатываемую поверхность, без подачи порошка для снижения пористости и разнотолщинности нанесенных слоев с одновременным повышением уровня сплавления порошковых материалов с целью увеличения срока службы и безаварийной работы плазменно-напыленных нагревателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гросман, Б.С. Толстопленочные плоские нагреватели / Б.С. Гросман // Технология и конструирование в электрон. аппаратуре. -1992. -№4, Вып.1. -С. 13-20.
2 Плазменное нанесение резистивных слоев ленточного электронагревателя / А.А. Ершов, Э.К. Урбах, В.А. Фалеев, В.С. Чередниченко // Физика низкотемпературной плазмы: материалы конф. / ПГУ. -Петрозаводск, 1995. -Ч.3. -С. 409-411.
3 Создание низкотемпературного нагревателя методом плазменного напыления / А.С. Аньшаков [и др.] // Физика и химия обработки материалов. -1998. -№3. -С. 56-61.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *плазменное напыление, плоский электронагреватель, оплавление покрытия, адгезионная прочность, термообработка*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Хацевский Константин Владимирович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
Гоненко Татьяна Владимировна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644099, г. Омск, ул. И. Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОГРУЖЕНИЯ В ВОДНУЮ СРЕДУ

НОУ ВПО Центросоюза РФ «Сибирский университет потребительской кооперации»

Н.Ф. Голубев

DAMAGEABILITY OF MOTOR VEHICLE AS A RESULT OF IMMERSING IN THE WATER ENVIRONMENT
«Siberian university of consumer cooperatives»
N.F. Golubev

Repercussions of immersing of motor vehicles in the water environment, the reasons of damageability of various elements, units, devices and systems of car, and also possibility of display of the delayed defects and the refusals resulting their contact to the water environment are considered.

Keywords: motor vehicles, damageability, immersing in water, defect, refusal

Рассмотрены последствия погружения автотранспортных средств в водную среду, причины повреждаемости различных элементов, узлов, устройств и систем автомобиля, а также возможность проявления отсроченных дефектов и отказов, возникающих в результате их контакта с водной средой.

Глобальное изменение климата на Земле все чаще приводит к возникновению различных разрушительных природных явлений, часть из которых связана с водной стихией. В различных регионах мира происходят разные по силе и последствиям водные катаклизмы, результатом которых становятся затопления целых регионов, провинций и стран. Существуют области, в которых затопления происходят регулярно. В этой связи следует отметить систематические затопления, происходящие в сезон дождей в экваториальных широтах и в

странах юго-восточной Азии, сезонные затопления местностей при разливе рек в половодье и вследствие выпадения аномального количества осадков, затопления прибрежных территорий в результате обрушения на них тайфунов, штормов, цунами и пр.

Во время перечисленных стихийных бедствий, наряду с прочими объектами, затоплению подвергаются и транспортные средства, которые, кроме того, могут оказаться под действием водной среды в результате различных происшествий и ошибок персонала в период эксплуатации, происходящих, например, при преодолении водных преград, проваливании автомобилей под лед и т.д. Широкие возможности затопления автотранспортных средств реализуются в постоянном присутствии на вторичном автомобильном рынке автомобилей-«утопленников», доля которых в зависимости от сезона может достигать 10 %. Рассмотрим, к каким отрицательным последствиям для технического состояния и дальнейшей эксплуатации автомобиля приведет его погружение в водную среду.

В современном автомобилестроении для изготовления элементов и деталей как автомобиля в целом, так и его отдельных агрегатов, систем, устройств и узлов применяется широкий спектр конструкционных материалов, среди которых следует отметить различные металлы, сплавы, защитные и декоративные покрытия, полимерные материалы, изделия из кожи, стекла и резины, а также используются технические жидкости и пр. Каждый из перечисленных материалов особым образом реагирует на контакт с водной средой и приобретает различные повреждения в результате этого контактирования. Незащищенные металлы, сплавы и металлические покрытия подвергаются коррозии, полимерные материалы и лакокрасочные покрытия испытывают ускоренное старение, изделия из кожи подвергаются порче и теряют товарный вид, технические жидкости теряют свои эксплуатационные свойства и приходят в негодность.

Последствия контактирования с водной средой изделий из различных конструкционных материалов зависят от многих факторов, среди которых следует отметить как эксплуатационные свойства самого материала, так и агрессивность водной среды, определяемую составом и концентрацией содержащихся в ней примесей. По мнению авторов [1], номенклатура и характер поврежденных деталей, узлов и агрегатов затопленного транспортного средства зависит от длительности и условий воздействия водной среды.

В наиболее распространенных случаях затопления автомобилей следует говорить о продолжительности контакта с водной средой при полном или частичном погружении в течение промежутка времени от нескольких минут до нескольких часов. Такое затопление может вызвать развитие и протекание процессов краткосрочной водной коррозии не защищенных металлов и сплавов [2], а затем «мокрой», переходящей в во «влажную», и затем - в «сухую» атмосферную коррозию поверхности этих изделий [3], а также ускоренного старения полимерных материалов, в условиях длительного естественного высыхания [2].

Большинство видов коррозии металлов и сплавов протекает достаточно медленно. По данным авторов [2] скорость коррозии незащищенной нестойкой к окислению малоуглеродистой стали в речной (пресной, загрязненной) воде в зависимости от химической агрессивности ее органических и неорганических включений составляет от 0,05 до 0,1 мм/год. По данным автора [3], при атмосферной коррозии окисные пленки на металлах образуются в течение первых 2-3 ч после изготовления. При этом толщина слоя окислов на стальных и медных поверхностях составляет 3-4 нм, а на поверхностях алюминиевых сплавов, коррозионно-стойких сталей и серебряных покрытий – 1-2 нм. В дальнейшем, в условиях «сухой» атмосферной коррозии, толщина окисных пленок изменяется незначительно.

Таким образом, можно констатировать, что указанный выше период нахождения автомобиля в затопленном состоянии, как и период его последующего естественного высыхания являются недостаточными для развития коррозионного процесса и снижения работоспособности его кузовных и механических деталей и узлов. Кроме того, в современном автомобиле большинство деталей имеют защитные коррозионно-стойкие покрытия, значительно снижающие степень коррозионных повреждений металлических поверхностей. Однако, всегда существует опасность, что вода, проникшая в закрытые, и потому недоступные, полости кузова и механических узлов, вызовет в дальнейшем продолжительные интенсивные и, следовательно, разрушительные коррозионные процессы в местах нарушения лакокрасочного и прочих защитных покрытий.

Из-за не герметичности корпусов подшипниковых узлов и агрегатов трансмиссии, ходовой части, рулевого управления и тормозной системы при затоплении автомобиля в них проникает загрязненная грунтом, песком, илом и другими включениями вода. Проникание

воды в смазочные материалы и другие рабочие жидкости на основе нефтепродуктов приводит к появлению водных эмульсий этих жидкостей, имеющих белесые цветовые оттенки, и потере их эксплуатационных качеств.

Двигатель, коробка переключения передач и другие узлы и агрегаты моторного отсека, в зависимости от уровня погружения, в той или иной степени оказываются под водой. При достаточном уровне вода через воздушный фильтр свободно проникает внутрь двигателя, а через имеющиеся зазоры и неплотности - в негерметичные корпуса других агрегатов и узлов. Проникание загрязненной воды в механические смазанные узлы и агрегаты приводит к вымыванию смазочного материала, осаждению на рабочих поверхностях их деталей мелко-дисперсных абразивных частиц, что при отсутствии последующих ремонтных работ приведет к их повышенному износу, снижению ресурса и быстрому выходу из строя этих узлов при дальнейшей эксплуатации автомобиля.

В случае попадания воды внутрь двигателя, первыми признаками которого являются намокание воздушного фильтра и появление эмульсии в картерном масле, запрещается предпринимать попытки запуска двигателя, так как это может привести к механическим повреждениям коленчатого вала и деталей цилиндропоршневой группы в результате гидравлического удара.

Электрические и электронные устройства, как и прочие элементы электрической системы автомобиля, находящиеся под напряжением в момент затопления, испытывают режим «короткого замыкания», и, чаще всего, теряют свою работоспособность. Вода, попавшая внутрь корпусов негерметичного по исполнению электрооборудования и электронных устройств автомобиля, не имея условий для высыхания, может долгое время находиться внутри них, интенсифицируя процесс «мокрой» атмосферной коррозии металлических поверхностей, а также, являясь электролитом, может привести к короткому замыканию в этих устройствах при последующих попытках их включения.

Токоведущие части кабелей, а также контактные группы электросистемы автомобиля являются не защищенными металлическими поверхностями, которые подвергаются коррозии во время и после намокания, что приводит к росту сопротивления на контактах и возможности возникновения короткого замыкания в жгутах проводки при последующих включениях электросистем.

В результате проникания воды световые приборы автомобиля выходят из строя. Не терпят намокания электролампы и отражатели световых приборов, а наличие грунтового осадочного налета на зеркальной поверхности отражателей и на внутренней поверхности защитного стекла фар, является очевидным свидетельством затопления автомобиля.

В результате затопления автомобиля элементы интерьера и отделки его салона, для изготовления которых в основном применяются полимерные материалы и кожаное сырье, теряют свой товарный вид. Детали из полимерных материалов сами по себе незначительно страдают при затоплении автомобиля, и их товарный вид может быть восстановлен в процессе чистки и мойки с применением соответствующих моющих и специальных химических отделочных средств. Проблема состоит в потере работоспособности множеством электрических и электронных устройств, установленных на этих деталях отделки салона автомобиля. Кожаная обивка кресел в процессе высыхания после намокания меняет свой цвет (линяет), теряет эластичность и приобретает жесткость (дубеет), дает неравномерную усадку, что приводит к появлению деформаций этих изделий. В результате намокания внутри кресел создаются условия для развития плесневых процессов и, как следствие, в салоне автомобиля появляются неприятные затхлые запахи.

Таким образом, эксплуатация автомобиля после затопления без достаточной глубины ремонтных воздействий на механическую и электрическую части автомобиля вызывает уменьшение ресурса его механических деталей и узлов, а также появление многочисленных рисков возникновения отсроченных отказов в его электрических системах и устройствах и, как следствие, снижения уровня технической надежности автомобиля и безопасности его эксплуатации. Такой автомобиль можно эксплуатировать, но его надежность и последующий ресурс будут во многом зависеть от глубины ремонтных работ, которые предполагают выполнение полной разборки автомобиля, просушивания и чистки, дефектации и контрольно-диагностической проверки технической исправности всех его элементов, узлов и деталей, подвергшихся контакту с водой, замены неремонтируемых узлов и элементов, смазочных материалов и других рабочих жидкостей, обратной сборки автомобиля. По мнению специалистов, стоимость выполнения перечисленных ремонтных работ с заменой дефектных узлов

сопоставима с ценой такого автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Новоселецкий, И.Н. О некоторых аспектах расчета стоимости восстановительного ремонта транспортных средств, подвергшихся затоплению [Электронный ресурс]: / И.Н. Новоселецкий, В.И. Рябенко, В.А. Шатилов. -Режим доступа: <http://akordcar.narod.ru/stZat.htm>.

2 Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник: В 2-х т. / Под ред. А. А. Герасименко. -М.: Машиностроение, 1987. Т.1. -688 с., Т.2. -784 с.

3 Михайловский, Ю.Н. Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты / Ю.Н. Михайловский. -М.: Metallurgia, 1989. -103 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *автотранспортное средство, повреждение, погружение в воду, дефект, отказ*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Голубев Николай Федорович, докт. техн. наук, профессор НОУ ВПО «СибУПК»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630087, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 26, НОУ ВПО «СибУПК»*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ХРАНЕНИЯ МАЗУТА В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ РЕЗЕРВУАРЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»

Э.М. Хайриева, М.Ф. Шагеев

STUDY OF FUEL OIL IN STORAGE MODE METAL CONTAINERS AT VARIOUS ENVIRONMENTAL TEMPERATURES

«Kazan state power engineering university»

E.M. Hairieva, M.F. Shageev

Considered storage modes of liquid fuel power plants at different ambient temperatures. The results of storage of fuel oil with additives СНПХ-9777.

Keywords: fuel oil, heavy oil industry, storage of liquid fuels

Рассмотрены режимы хранения жидкого топлива на энергетических предприятиях при различных температурах окружающей среды. Приведены результаты хранения мазута с использованием присадки СНПХ-9777.

В научно-технической литературе и в отрасли, отсутствуют работы, в полном объеме рассматривающие вопросы расчета холодного хранения жидкого топлива в резервуарных парках мазутных хозяйств.

Известные методики расчета и определения характеристик циркуляционного подогрева мазута рассматривают только частные случаи [1-6], не учитывают возможные режимы эксплуатации резервуарных парков мазутных хозяйств при холодном хранении жидкого топлива.

Снижение собственных нужд на мазутном хозяйстве позволит сократить потребление топлива [7].

В статье произведен анализ работы металлического вертикального цилиндрического резервуара объемом 10000 м³. При температурах окружающей среды: -32° С (зимний период), +8° С (промежуточный период), +20° С (летний период). Рассчитана температура нагрева и остывания жидкого топлива в резервуаре.

Для длительного хранения в данной работе добавили поверхностно-активные вещества (СНПХ-9777). В работах [8-10] представлены положительные стороны присадки СНПХ-9777 (одним из главных достоинств является снижение температуры застывания жидкого топлива). Дальнейшее аналитическое исследование проводилось с учетом этой присадки.

В работе рассмотрены три промежутка подогрева мазута (20-70 °С, 40-70 °С, 60-70 °С) при различных температурах окружающей среды. Средняя температура мазута в резервуаре составила 45 °С, 55 °С и 65 °С соответственно.

На рисунке указаны для сравнения все три температуры окружающего воздуха -32 °С (зимний период), +20 °С (летний период), +8 °С (промежуточный период). Для каждой температуры окружающей среды представлены температурные режимы хранения мазута в резервуаре: 20-70 °С; 40-70 °С; 60-70 °С. В летнем периоде (20 °С) нагрев до заданной температуры происходит быстрее за 21,67 ч; 21,97 ч и 22,27 ч соответственно. В промежуточном периоде (8 °С) нагрев до заданной температуры происходит за 25,32 ч, 25,66 ч и 26 ч соответственно. И самый медленный нагрев происходит за 32,17 ч, 35,63 ч, 36,1 ч в зимний период (-32 °С) до заданной температуры соответственно.

В зимний период остывание до заданной температуры происходит быстрее за 67,07 ч, 56,85 ч и 49,65 ч соответственно.

В зимний период коэффициент теплопередачи от мазута в резервуаре в окружающую среду с увеличением средней температуры изменяется на 18% (соответственно 0,7097 Вт/(м²·К); 0,6436 Вт/(м²·К); 0,6014 Вт/(м²·К). С увеличением средней температуры увеличиваются потери тепла (6,939·10⁴ Вт; 8,298·10⁴ Вт; 9,629·10⁴ Вт) в окружающую среду и количество теплоты (1,676·10¹² Дж; 1,698·10¹² Дж; 1,721·10¹² Дж) необходимое для подогрева мазута. Расход условного топлива при средних температурах мазута составил, при 45 °С – 0,013·10¹² т; 55 °С – 0,026·10¹² т; 65 °С – 0,012·10¹² т.

Чем выше температура воздуха, тем быстрее происходит нагрев, а остывание значительно дольше.

Таким образом, холодное хранение жидкого топлива может найти широкое распространение при использовании мазута в качестве резервного топлива, а также на предприятиях и базах со значительным запасом топлива. Метод холодного хранения мазута является экономически целесообразным и может использоваться в климатических зонах с низкой температурой окружающей среды.

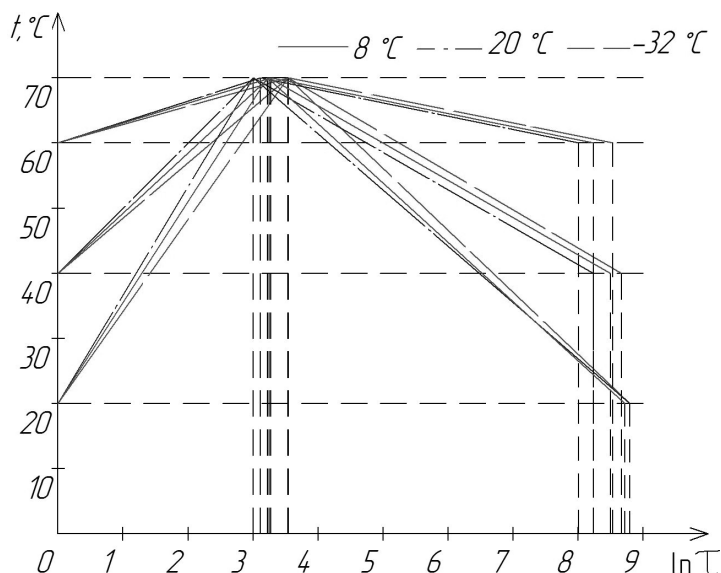


Рисунок – Зависимость температуры хранения, от времени нагрева и остывания мазута, при различных температурах окружающей среды

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ляндю, И.М. Эксплуатация мазутного хозяйства котельной промышленного предприятия / И.М. Ляндю. -М.: Энергия. 1968.
- 2 Геллер, З.И. Исследование возможности длительного хранения мазута без подогрева в резервуарах большой мощности / З.И. Геллер, З.Г. Филановский, А.К. Пименов, А.Н. Попов, М.А. Луговой // Электрические станции. -1972. -№5.
- 3 Карпов, В.В. Опыт холодного хранения мазута / В.В. Карпов, С.К. Вязовой, Ж.А. Емелин // Энергетик. -1975. -№4.
- 4 Карпов, А.И. Испытание проектной схемы циркуляционного разогрева мазута в резервуаре / А.И. Карпов, С.К. Вязовой, Ж.А. Емелин // Энергетик. -1975. -№8.
- 5 Геллер, З.И. Мазут как топливо / З.И. Геллер. -М.: Недра. 1965.
- 6 Назмеев, Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС / Ю.Г. Назмеев. -М.: Издательство МЭИ, 2002.
- 7 Шагеев, М.Ф. Использование водотопливной эмульсии как метод энергосбережения и повышения экологической безопасности энергетических предприятий / М.Ф. Шагеев, Э.М. Хайриева // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальн. Востока. -2011. -№1. -С. 174-176.
- 8 Охотникова, Е.С. Разработка составов устойчивых водо-топливных эмульсий на основе природных битумов / Охотникова, Е.С. [и др.]
- 9 Шагеев, М.Ф. Сжигание в энергетических котлах и промышленных печах водомазутной эмульсии с присадкой СНПХ-9777 / М.Ф. Шагеев, А.Ф. Шагеев, Т.Н. Юсупова, Г.В. Романов, Е.С. Охотникова, Э.М. Хайриева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. -2009. -№3-4.
- 10 Хайриева, Э.М. Эффективное использование водомазутной эмульсии с добавлением ПАВ в мазутных хозяйствах ТЭС / Э.М. Хайриева // X Всероссийский студенческий научно-технический семинар «Энергетика: экология, надежность». Тезисы докладов. -Томск: Томский политех. ун-т, 2008.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мазут, мазутное хозяйство, хранение жидкого топлива
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Хайриева Эльвира Мусавировна, аспирант ФГБОУ ВПО «КГЭУ»
 Шагеев Марат Фаридович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «КГЭУ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, ФГБОУ ВПО «КГЭУ»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ШАРНИРНОГО СОЕДИНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА ПРИ КРУЧЕНИИ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

С.А. Коростелев

MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMIC DEFORMATION OF RUBBER-METALLIC JOINT COMBINED TYPE UNDER THE TORSIONAL

«Altai state technical university named I.I. Polzunova»
S.A. Korostelev

This paper presents a mathematical model of dynamic deformation of rubber-metal swivel joint of combined type and its identification on the basis of the experimental data.

Keywords: rubbers, rubber-metal joints, torsion, the hysteresis loop

Представлена математическая модель динамического деформирования резинометаллического шарнирного соединения (РМШ) комбинированного типа и ее идентификация на основе полученных экспериментальных данных.

В конструкциях транспортных машин широкое применение получили резинометаллические элементы в виде шарнира (РМШ) комбинированного типа (элементы подвески легковых и грузовых автомобилей, шарниры соединения звеньев гусеничной цепи). В таком шарнире резиновый элемент привулканизовывается по внутренней поверхности к металлическому пальцу и запрессовывается в металлическую обойму.

Для обоснованного выбора конструктивных параметров резиновых и сопрягаемых с ними металлических элементов, и дальнейшей их оптимизации необходимо иметь четкое описание механики деформирования резины.

При динамическом нагружении возрастает жесткость резиновых элементов, и в первом приближении жесткостные характеристики элементов можно оценить, используя для расчета напряжено-деформированного состояния при вторичном нагружении крутящим моментом вместо равновесного модуля динамический модуль [1]. Однако такой подход не позволяет получить потери энергии при деформировании резинового элемента. Поэтому при динамическом нагружении резину следует рассматривать как вязкоупругий материал.

В настоящей работе рассматривается процесс динамического деформирования РМШ комбинированного типа и предлагается математическая модель и метод ее идентификации на основе результатов экспериментальных данных.

Механическое поведение резины описывается моделью Кельвина-Фойхта [2], которая представляет собой параллельное соединение упругого элемента (пружины) и вязкого элемента (демпфера). Соотношения между напряжением и деформацией для этой модели описываются зависимостью [2]

$$\tau = G\varepsilon + \eta\dot{\varepsilon}, \quad (1)$$

где G – динамический модуль сдвига;
 $\varepsilon, \dot{\varepsilon}$ – соответственно деформация и скорость деформации;
 η – модуль вязкости.

На рисунке 1 представлена схема нагружения резинового элемента и разбиение его сечения на конечные элементы. Для определения формы резинового элемента, после запрессовки в проушину, используется алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния [3].

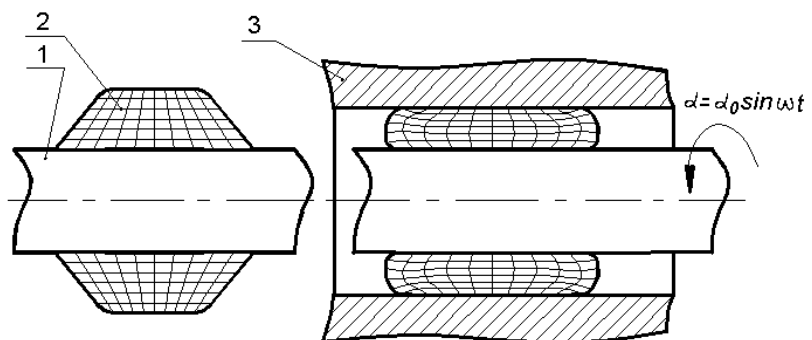


Рисунок 1 – Схема нагружения резинового элемента: 1-арматура пальца; 2-резиновый элемент; 3-штулка

Механическое поведение резинового элемента при динамическом нагружении описывается системой дифференциальных уравнений [4]

$$[C] \frac{\partial \{\Phi\}}{\partial t} + [K] \{\Phi\} + \{F\} = 0, \quad (2)$$

где $[C]$ – глобальная матрица демпфирования конструкции;

$[K]$ – глобальная матрица жесткости конструкции;

$\{\Phi\}$ – глобальный вектор узловых перемещений;

$\{F\}$ – вектор узловых сил.

Вклад каждого конечного элемента в матрицы $[K]$, $[C]$ определяется формулами [3, 4]

$$[k^e] = \int_V GR^{o2} \left([N_r]^T [N_r] + [N_z]^T [N_z] \right) dV;$$

$$[c^e] = \int_V \eta R^{o2} \left([N_r]^T [N_r] + [N_z]^T [N_z] \right) dV,$$

где $[N_r]$, $[N_z]$ – частные производные функции формы конечного элемента соответственно по координатам r и z ;

R^o – координата r элементарного объема в деформированном состоянии (после сборки).

Для схемы нагружения резинового элемента (рисунок 1) вектор узловых сил $\{F\}$ формируется при учете граничных условий во время процедуры редуцирования [5] глобальной матрицы жесткости и матрицы демпфирования.

Для решения системы дифференциальных уравнений (2) применяется конечно-разностный метод, заключающийся в замене частной производной по времени ее конечно-разностным аналогом с применением центральной разностной схемы [4] то есть

$$\frac{d\{\Phi\}}{dt} = \frac{1}{\Delta t} \left(\{\Phi\}_{i+1} - \{\Phi\}_i \right), \quad (3)$$

где Δt – длина элементарного временного интервала;

$\{\Phi\}_i$, $\{\Phi\}_{i+1}$ – значения перемещений, соответственно, в начале и в конце элементарного временного интервала.

Так как значения производной вычисляются в середине временного интервала необходимо в этой же точке вычислить значения $\{\Phi\}$ и $\{F\}$

$$\{\Phi\}^* = \frac{1}{2} \left(\{\Phi\}_{i+1} + \{\Phi\}_i \right); \quad (4)$$

$$\{F\}^* = \frac{1}{2} \left(\{F\}_{i+1} + \{F\}_i \right). \quad (5)$$

Подставляя выражения (3)-(5) в систему (2) и выполняя преобразования, получим следующее соотношение

$$\left([K] + \frac{2}{\Delta t} [C] \right) \{\Phi\}_{i+1} = \left(\frac{2}{\Delta t} [C] - [K] \right) \{\Phi\}_i - 2\{F\}^*. \quad (6)$$

Задав начальные условия, и последовательно решая систему линейных алгебраических уравнений (6), получаем значения узловых перемещений конечно-элементной модели $\{\Phi\}$ на всем протяжении временного интервала. Используя значения перемещений $\{\Phi\}$ для любого конкретного времени на временном интервале, вычисляются значения реактивного момента и распределения динамических напряжений $\tau_{r\theta}$ и $\tau_{\theta z}$ по сечению резинового элемента, кроме того, строится зависимость реактивного момента от угла закручивания (петля гистерезиса).

С целью идентификации представленной математической модели были исследованы процессы динамического деформирования резиновых элементов РМШ различного конструкционного исполнения при различных режимах деформирования характерных для эксплуатации.

Исследования проводились на специальном стенде, позволяющем циклически закручивать лабораторные образцы на заданный угол, и измерять соответствующий ему момент реакции шарнира. Конструкция стенда позволяет варьировать угол закручивания шарнира в

пределах $\pm 20^\circ$, задавать симметричные и несимметричные циклы нагружения с частотой до 20 Гц и радиальной нагрузкой до 50 кН. Регистрация измеряемых величин выполняется на ЭВМ, оснащенной АЦП типа L-780, работающей совместно с тензоусилителем постоянного тока.

Лабораторные образцы состоят из резинометаллического пальца с резиновыми элементами трапецевидного сечения с внутренним диаметром 20,5 мм и 26,0 мм, внешним диаметром 35,0 и 43,0 мм, запрессованного во втулки с внутренним диаметром от 29,0 до 39,2 мм (рисунок 2).



Рисунок 2 – Лабораторный образец: а)-резинометаллический палец; б)-резинометаллический шарнир в сборе

Образцы подвергались циклической нагрузке с амплитудой от 3° до 8° , и частотой 0,61-3,9 Гц как при увеличении амплитуды от минимального значения к максимальному, так и при ее уменьшении.

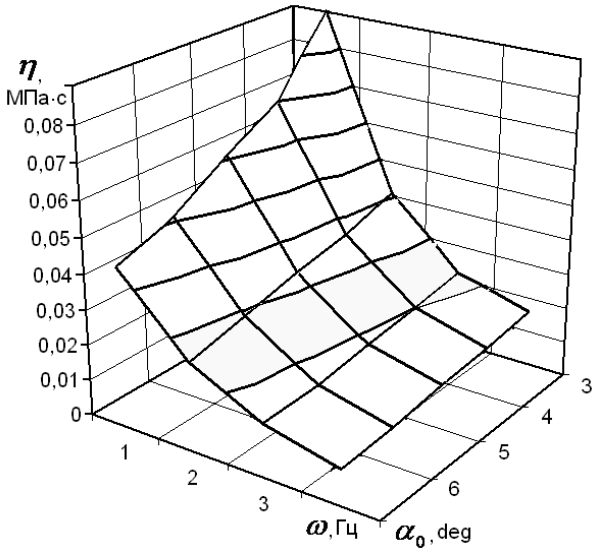


Рисунок 3 – Зависимость модуля вязкости от частоты нагружения и угла закручивания шарнира

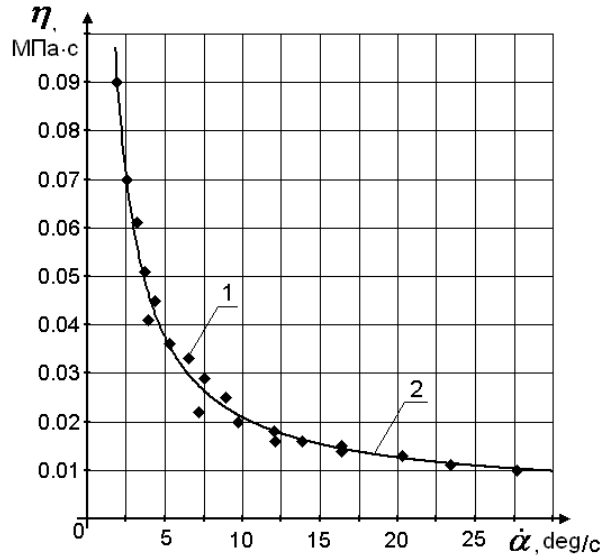


Рисунок 4 – Зависимость модуля вязкости от скорости закручивания резиновых элементов: 1-эксперимент; 2-приближение методом наименьших квадратов

Сопоставление результатов численных исследований с помощью предлагаемой математической модели и результатов эксперимента показало, что модуль вязкости для модели Кельвина-Фойхта является некоторой функцией амплитуды угла закручивания и частоты деформирования резиновых элементов (рисунок 3).

Представленная графическая зависимость показывает, что значение модуля вязкости уменьшается как с увеличением частоты, так и с увеличением амплитуды, а, следовательно, величина модуля вязкости уменьшается с увеличением скорости закручивания образца $\dot{\alpha}$ (рисунок 4).

Таким образом, модуль вязкости является функцией скорости деформирования резинового элемента $\eta = \eta(\dot{\alpha})$.

На рисунке 5 представлены результаты эксперимента и расчета по представленной математической модели, в которой модуль вязкости является функцией скорости деформирования резинового элемента.

В результате проведенных исследований получена математическая модель динамического деформирования резиновых элементов, которая показала удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными в рассмотренном диапазоне режимов нагружения

для резиновых элементов с различными конструктивными параметрами.

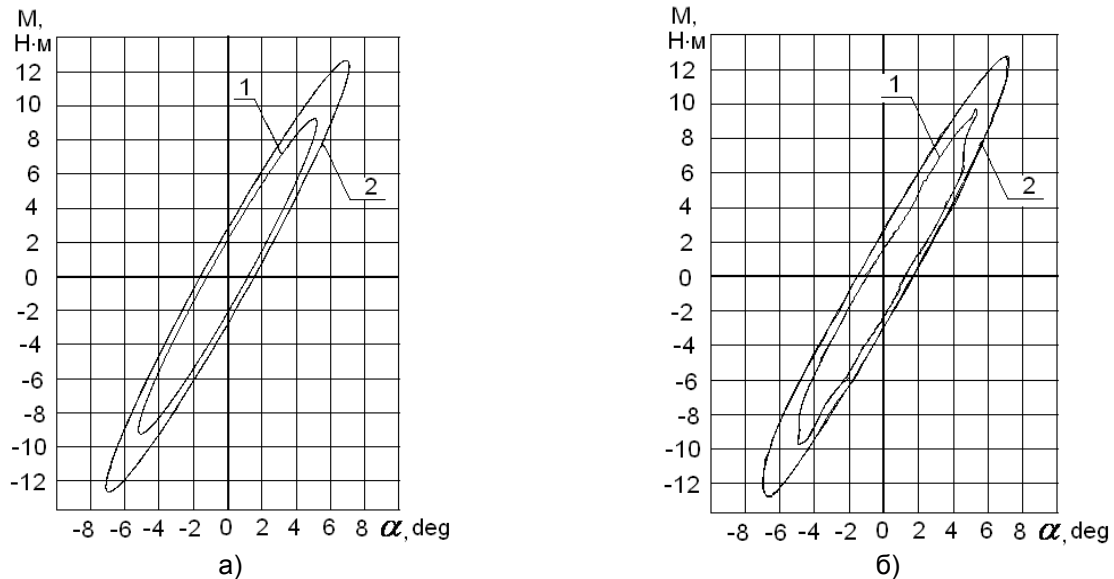


Рисунок 5 – Расчетные (а) и экспериментальные (б) петли гистерезиса: 1-частота 0,61 Гц, амплитуда 5,2°; 2-частота 3,9 Гц, амплитуда 7,1°

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лавендел, Э.Э. Расчеты резинотехнических изделий: монография / Э.Э. Лавендел. -М.: Машиностроение, 1976. -232 с.
 2 Уорд, И. Механические свойства твердых полимеров / И. Уорд. -М.: Химия, 1975. -350 с.
 3 Коростелев, С.А. Оценка напряженно-деформированного состояния резинового элемента РМШ гусеничного движителя при сборке и кручении / С.А. Коростелев // Тракторы и сельхозмашины. -2010. -№11. -С. 26-29.
 4 Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов: монография / Л. Сегерлинд. -М.: Мир, 1979. -392 с.
 5 Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы: монография / Р. Галлагер. -М.: Мир, 1984. -428 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: резиновые элементы, резино-металлические шарнирные соединения, кручение, гистерезис
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Коростелев Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА В СУДОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

ООО «Судоходная компания «Сибирь»
 ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
 ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.А. Алемасов, А.А. Борисов, В.М. Зырянов

ASSESSMENT OF PROSPECTS TO REDUCE FUEL CONSUMPTION IN THE SHIP'S POWER SYSTEM WITH ENERGY STORAGE
 Shipping company «Siberia»
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 «Novosibirsk state technical university»
 V.A. Alemasov, A.A. Borisov, V.M. Zyryanov

In the article on example to the analysis of the results of field experiments on ship crane is shown that the use of energy storage, reduces fuel consumption up to 55%.

Keywords: independent power supply system, load diagram, rapidly changing load schedule, energy storage, fuel consumption

На примере анализа результатов натуральных экспериментов на плавкране показано что, применение накопителя энергии, позволяет уменьшить расход топлива до 55%.

Статья посвящена актуальной для автономных энергосистем (ЭС) с резкопеременной нагрузкой проблеме: снижению расхода топлива.

Особенность таких ЭС состоит в том, что мощность отдельных потребителей соизме-

рима с мощностью электростанции. Например, для ЭС плавучего крана большую часть нагрузки составляют электродвигатели крановых механизмов. Количество бросков мощности, вызванных коммутациями крановых электродвигателей, достигает 600 и более в час. По суммарной продолжительности такая пиковая нагрузка занимает не более 5% от общего времени работы плавучего крана. Дизель, который является приводным двигателем генераторного агрегата (ДГА), имеет перегрузочную способность не более 10% [1], поэтому его номинальная мощность выбирается, исходя из максимальной пиковой нагрузки. Таким образом, 95% времени дизель-генератор работает с долевыми нагрузками, не превышающими 30-40% от номинальной мощности, что сопровождается повышенным удельным расходом топлива.

Авторами в навигационный период 2010 года были выполнены экспериментальные исследования работы автономных энергосистем на ряде судов технического флота:

- 1 речной буксир-толкач РТ-690, с мощностью ДГА 30 кВт;
- 2 Землесос-1005, с мощностью ДГА 315 кВт;
- 3 Плавкран КПЛ 18-82, с мощностью ДГА 300 кВт;
- 4 Речной буксир-толкач Речной-9, с мощностью ДГА 35 кВт.

Параметры режима судовых энергосистем записывались 8-ми каналным цифровым осциллографом DL 750 с дискретностью 0,0001 с, который регистрировал фазные токи I_A, I_B, I_C , фазные напряжения U_A, U_B, U_C , активную P и реактивную Q мощности.

С точки зрения задачи, поставленной в названии статьи, наибольший интерес представляет работа ЭС плавкрана. Плавкран работал в одном из наиболее тяжелых режимов – добыча песка со дна реки Обь. Такой режим работы ЭС сопровождается резкопеременным графиком нагрузки, значительными колебаниями частоты, напряжения сети и активной постоянной работой регуляторов скорости и возбуждения. На рисунке 1 представлена осциллограмма одного из наиболее тяжелых циклов работы плавучего крана. Количество бросков мощности нагрузки более 20% от среднециклового значения 66,7 кВт составляет около 1500 в час.

При резкопеременном характере работы дизель-генераторного агрегата отмечается повышенный расход топлива. Во-первых – за счет работы на долевыми нагрузках с повышенным удельным расходом. Во-вторых – за счет нестационарности режима.

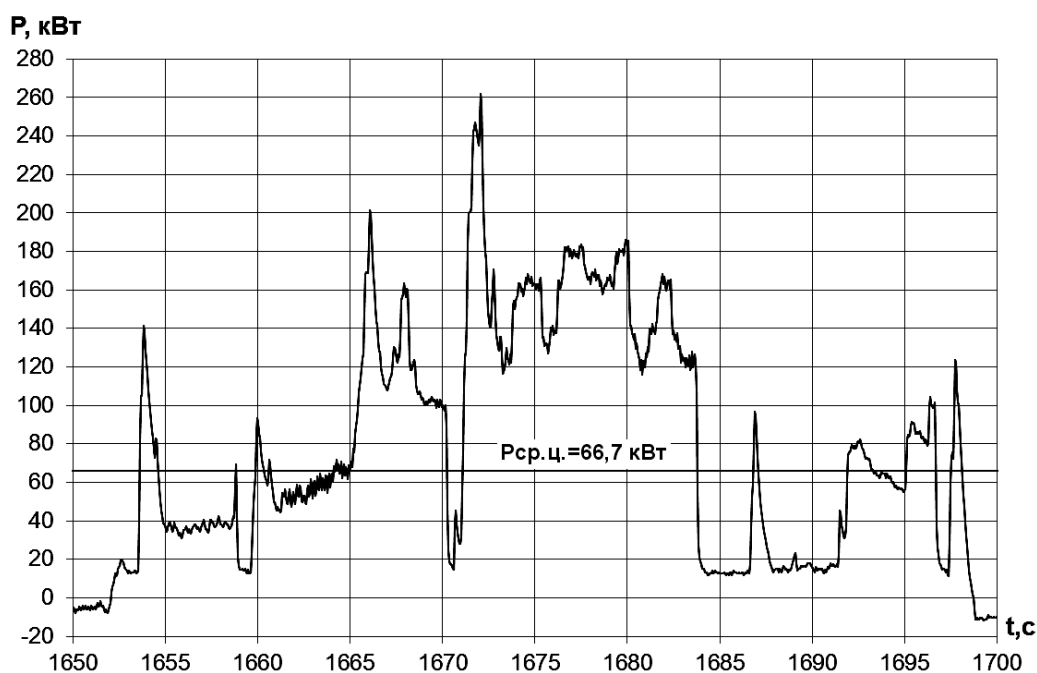


Рисунок 1 – Цикл нагрузочной диаграммы плавкрана

Существенно уменьшить расход топлива можно, включив в состав энергосистемы накопитель энергии (НЭ). Очевидно, что из всех перечисленных выше судовых ЭС для плавкрана, отличающегося наиболее резкопеременным характером режима работы, эффект от применения НЭ будет наибольшим.

Авторами с использованием статической характеристики ДГА (рисунок 2) рассчитан расход топлива за цикл работы плавкрана для трёх вариантов организации работы ЭС. Первый вариант – работа штатного ДГА 300 кВт без использования НЭ. Второй вариант – работа штатного ДГА $P_{\text{ДГА}} = 300$ кВт с использованием НЭ (при этом ДГА работает с постоянной нагрузкой, равной среднецикловой 66,7 кВт). В третьем варианте штатный ДГА заменен на ДГА меньшей мощности 100 кВт с накопителем энергии. В последнем случае ДГА работает в режиме близком к оптимальному с постоянной нагрузкой, равной среднецикловой мощности 66,7 кВт, что составляет 66,7% от номинальной мощности ДГА.

Пиковая мощность накопителя энергии принята в расчетах равной 200 кВт, а обменная энергоёмкость – 1,8 МДж (0,5 кВт·ч).

На рисунке 3 представлены результаты расчета расхода топлива ДГА для этих трёх вариантов. Кривая 1 показывает текущий расход топлива в течении цикла при отсутствии накопителя (первый вариант). Кривая 2 показывает расход топлива при наличии накопителя, который «берёт» на себя все отклонения мощности нагрузки от среднециклового значения. Расход топлива при этом за цикл, по сравнению с первым вариантом, уменьшается на 30%. Кривая 3 характеризует расход топлива по третьему варианту. Цикловой расход топлива при этом, по сравнению с первым вариантом сокращается на 55%.

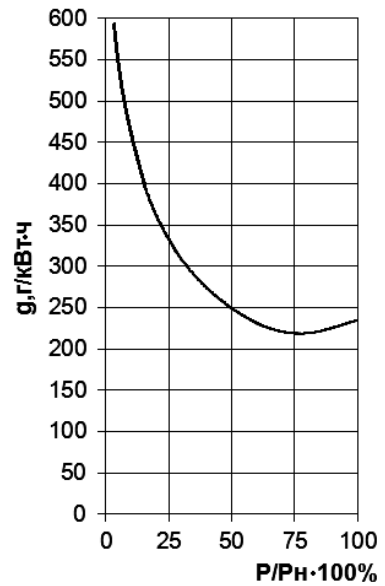


Рисунок 2 – Статическая характеристика удельного расхода топлива ДГА 300 кВт

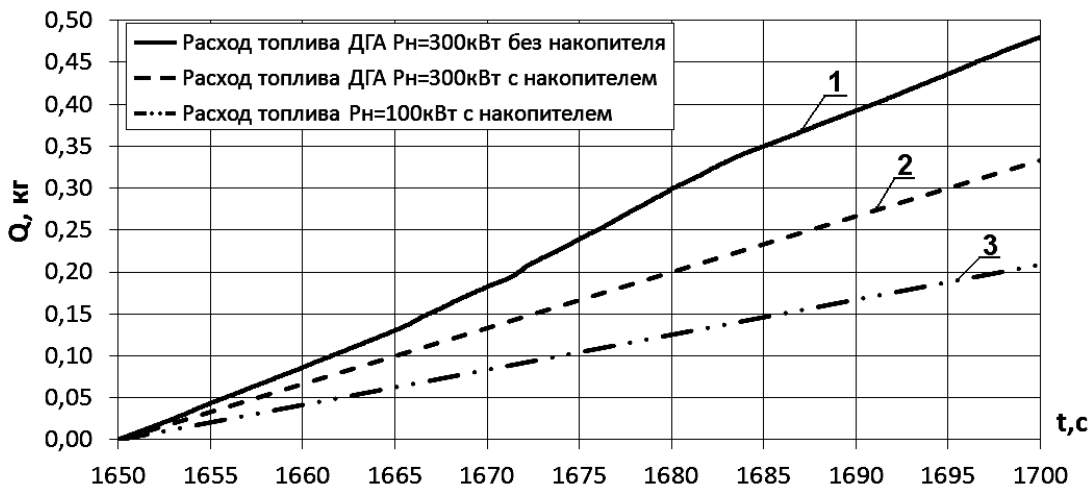


Рисунок 3 – Расход топлива ДГА за рабочий цикл

При расчёте расхода топлива ДГА использовался идеальный накопитель энергии (не связанный с каким-либо конкретным типом НЭ), вследствие этого полученная экономия топлива является максимально возможной. В случае применения любого конкретного типа накопителя экономия топлива уменьшится на величину, соответствующую КПД накопителя.

В качестве накопителя энергии для автономной энергосистемы плавкрана, на сегодняшний день, наиболее перспективными вариантами можно считать емкостной и электромеханический, так как они обладают достаточной энергоёмкостью, быстродействием и удовлетворяют условиям эксплуатации в условиях судна. Основными достоинствами емкостного накопителя являются простота обслуживания, возможность набора необходимой энергоёмкости с помощью добавления отдельных модулей и отсутствие подвижных частей [2]. Основными достоинствами электромеханического накопителя являются простота конструкций, возможность выбора его элементов из числа серийно выпускаемых и, как следствие, надежность работы и невысокая стоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 10150-88. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. -Взамен ГОСТ 4393-82, ГОСТ 10150-82; введ. 15-12-1982. -М.: Изд-во стандартов, 1988. -31 с.
 2 Электрохимические конденсаторы ЗАО «ЭЛТОН» [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.elton-cap.ru>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автономная энергосистема, нагрузочная диаграмма, резкопеременная нагрузка, накопитель энергии, расход топлива

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Алемасов Виктор Анатольевич, ген. директор ООО СК «Сибирь»
 Борисов Александр Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Зырянов Вячеслав Михайлович, канд. техн. наук, доцент

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 2, ООО СК «Сибирь»
 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФБОУ ВПО «НГТУ»

СОЗДАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»

Г.В. Шувалов, А.А. Мамонов

MAKING THE FACILITIES OF THE MEASUREMENTS TO DENSITY AND COEFFICIENTS OF THREE-DIMENSIONAL EXPANSION OF OIL PRODUCTS

«Siberian research institute to metrologies»

G.V. Shuvalov, A.A. Mamonov

In article questions of creation of measuring apparatuses of density and factors of volume expansion for metrological maintenance of measurement of key parameters of oil products are considered.

Keywords: oil products, density, volume expansion

Рассмотрены вопросы создания средств измерений плотности и коэффициентов объемного расширения для метрологического обеспечения измерения основных параметров нефтепродуктов.

Плотность является одним из наиболее универсальных и доступных для измерения качественных показателей нефтепродуктов. Значение ее необходимо как для оптимизации режимов эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, так и учета массы нефтепродуктов. Для нефти и нефтепродуктов плотность является нормируемым показателем качества и подлежит при использовании обязательному определению согласно ГОСТ 3900-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности» и ГОСТ Р 51069-97 «Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API ареометром».

Поскольку плотность нефтепродуктов меняется от температуры, то для сравнительных оценок значение плотности принято приводить к стандартной температуре (при температурах 15 или 20 °С).

В России стандартизированы два метода определения плотности: ареометрический и пикнометрический по ГОСТ 3900-85, которые хотя и обеспечивают необходимую точность, по своему конструктивному исполнению и условиям применения не всегда удовлетворяют требованиям практики, так как в большинстве случаев могут использоваться лишь в условиях стационарных лабораторий. Вместе с тем зачастую возникает необходимость оперативного определения плотности нефтепродуктов в местах их хранения и использования, особенно в полевых условиях. Это привело к созданию альтернативного барботажно-пузырьковый метода определения плотности нефтепродуктов[1].

Преимуществом метода является преобразование непрерывной неэлектрической величины – разности давлений – в последовательность дискретного счета пузырьков воздуха при барботаже его через исследуемую жидкость. Измерительная система плотномера состоит из двух измерительных трубок, помещенных в исследуемую жидкость (рисунок 1).

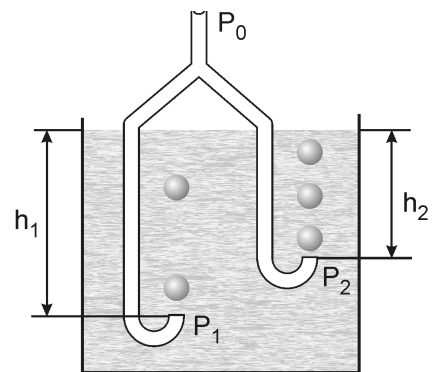


Рисунок 1 – Измерительная система для определения плотности жидкости

В трубки под избыточным давлением подается воздух от компрессора так, чтобы он барботировался через измерительные трубки в режиме одиночных пузырей.

Для указанной системы было получено выражение для определения плотности в виде

$$\rho = \sqrt{\frac{(\alpha_2 v_2 - \alpha_1 v_1) d \sigma}{g^2 (h_2 - h_1)}}, \quad (1)$$

- где α_i – коэффициент расхода газа через измерительные трубки;
 v_i – частота следования пузырьков на выходе измерительных трубок;
 g – ускорение свободного падения;
 σ – поверхностное натяжение жидкости;
 h_i – глубина погружения трубок.

Исследования показали, что между расчетными значениями плотности по (1) и реальными показателями жидкости существует различие, которое можно объяснить тем, что в расчетной формуле не учитывается влияние некоторых факторов, которые трудно учесть аналитически: испаряемости жидкости, растворяемости газа в жидкости, охлаждении жидкости при пропускании через нее газа. При измерениях эти факторы исключают градуировкой прибора по эталонным жидкостям.

С учетом проведенных исследований была разработана конструкция прибора, предназначенного для измерения плотности ГСМ, и разработана методика его применения для контроля плотности судовых топлив [2].

Плотность вещества, как правило, уменьшается с ростом температуры (вследствие теплового расширения) и увеличивается с повышением давления. Зависимость плотности от температуры при постоянном давлении в общем случае выражается уравнением

$$\rho_2 = \rho_1 [1 - \beta(t_2 - t_1)], \quad (2)$$

- где ρ_1 – плотность при температуре t_1 ;
 ρ_2 – плотность при температуре t_2 ;
 β – средний коэффициент объемного теплового расширения в интервале от t_1 до t_2 .

У многих жидкостей, в том числе нефтепродуктов, не содержащих парафина, наблюдается линейная зависимость плотности от температуры, так что для них справедливо соотношение

$$\alpha = \frac{\rho_1 - \rho_2}{t_1 - t_2}. \quad (3)$$

Величина α представляет собой среднюю температурную поправку к плотности, показывающую, насколько изменяется плотность данной жидкости при изменении температуры на 1 °С.

Значения α для нефтепродуктов приведены в ГОСТ 3900-85.

Поскольку значения поправок являются средними, пересчеты по формулам (2) и (3) могут дать значительные погрешности, если разность температур t_1 и t_2 велика. Поэтому для определения плотности с большей точностью формулу (3) рекомендуется применять только в тех случаях, когда температура измерения t_1 отличается от температуры t_2 , при которой требуется определить плотность, не более чем на ± 10 °С.

Между тем значительное количество нефтепродуктов для транспорта используется в условиях Сибири и Дальнего Востока, где температурный фон в зимнее время в этих районах достигает минус (50-60) °С. В этих условиях точный учет массы нефтепродуктов зачастую становится невозможным. Кроме того ГОСТ 3900-85 не учитывает влияние сортности нефтепродуктов, вследствие чего нефти из разных месторождений существенно отличаются по своим теплофизическим свойствам, что вносит значительную погрешность в результат определения массы нефтепродукта.

Предлагается решение этой задачи путем создания эталонных средств воспроизведения единицы температурного коэффициента объемного расширения, которые позволят определять плотность нефтепродуктов при отрицательных температурах на основе данных по коэффициенту их объемного расширения.

В основу предлагаемого подхода положен метод измерения объемного расширения с помощью емкостного низкотемпературного dilatометра. При этом дополнительный объем

расширенного нефтепродукта измеряется путем измерения емкости эталонного конденсатора, между электродами которого находится измеряемый нефтепродукт. Это позволяет увязать измерения коэффициента объемного расширения нефтепродуктов с единицей электрической емкости, которая воспроизводится Государственным первичным эталоном единицы электрической емкости ГЭТ 107-77.

Рассмотрим простейший вариант емкостного dilatометра в виде отрезка коаксиальной линии, частично заполненной диэлектрической жидкостью.

Конструкция такого dilatометра показана на рисунке 2.

Электрическая емкость указанной на рисунке 2 коаксиальной линии состоит из воздушной ёмкости C_0 и параллельно включенной ёмкости участка линии C_1 , заполненной жидкостью.

Используя общеизвестное выражение электрической ёмкости для коаксиальной линии

$$C = \frac{2\pi \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \ell}{\ln \frac{D}{d}}, \text{ Ф/м}, \quad (4)$$

найдем суммарную ёмкость dilatометра

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_0 = \left[\ell_x \varepsilon + (\ell_0 - \ell_x) \varepsilon_0 \right] \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}}. \quad (5)$$

При изменении температуры нефтепродукта

$$\Delta T = T_2 - T_1,$$

увеличивается заполнение коаксиальной линии жидкостью, то есть изменяется её уровень от ℓ_{xT_1} до ℓ_{xT_2} , а поскольку диэлектрическая проницаемость жидкости больше, чем у воздуха, то общая ёмкость линии увеличивается. Её изменение ΔC можно представить в следующем виде

$$\Delta C = C_{T_2} - C_{T_1} = \left[\ell_{xT_2} \left(\frac{\varepsilon_{T_2}}{\varepsilon_0} - 1 \right) - \ell_{xT_1} \left(\frac{\varepsilon_{T_1}}{\varepsilon_0} - 1 \right) \right] \frac{2\pi \varepsilon_0}{\ln \frac{D}{d}}. \quad (6)$$

Полагая в первом приближении, что диэлектрическая проницаемость жидкости ε_T пренебрежимо мало изменится в малом интервале изменения температуры, то выражение (6) упростится до вида

$$\Delta C = \Delta \ell_x \left(\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_0} - 1 \right) \frac{2\pi \varepsilon_0}{\ln \frac{D}{d}}, \quad (7)$$

откуда находим искомый подъем уровня $\Delta \ell_x$ и связанный с ним объем ΔV вытесненной жидкости

$$\Delta \ell_x = \frac{\Delta C}{\left(\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_0} - 1 \right) \frac{2\pi \varepsilon_0}{\ln \frac{D}{d}}}; \quad (8)$$

$$\Delta V = \Delta \ell_x S = \frac{\Delta C}{\left(\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_0} - 1 \right) \frac{2\pi \varepsilon_0}{\ln \frac{D}{d}}} \cdot \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}, \quad (9)$$

где S – площадь поперечного сечения линии, заполняемой жидкостью.

Из данных выражений видно, какие параметры необходимо знать для определения β .

Для практической реализации предложенного метода была разработана конструкция встроеного датчика, с помощью которого косвенным путём определялось необходимое для расчетов отношения $\varepsilon_T / \varepsilon_0$ в заданном температурном диапазоне.

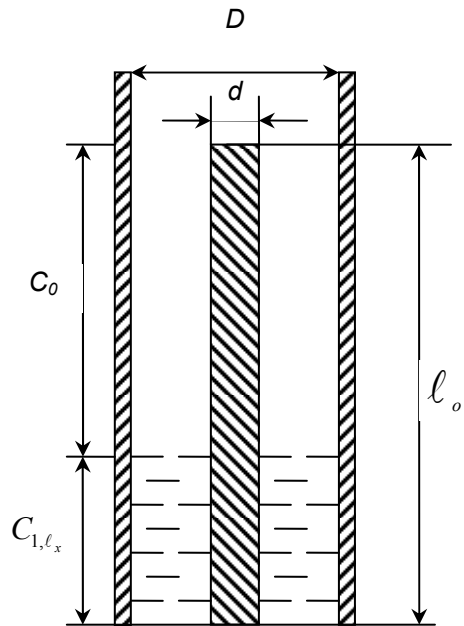


Рисунок 2 – Конструкция dilatометра

Таким образом, получены расчетные соотношения для косвенного измерения объема вытесненной жидкости через изменение электрической ёмкости и геометрические постоянные дилатометра, а также определены условия термокомпенсации. С учетом этого разработана конструкция датчика для измерения температурной зависимости коэффициента объемного расширения нефтепродуктов.

Проведенные исследования позволят создавать стандартные образцы плотности нефтепродуктов в низкотемпературной области, что обеспечит единство измерений свойств нефтепродуктов в диапазоне температур до минус 60 °С

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ясырова, О.А. Исследование метрологических характеристик приборов для определения плотности жидкости / О.А. Ясырова, Г.В. Шувалов, А.Ю. Жуков // Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника: сб. материалов 4-го Междунар. конгр. «ГЕО-СИБИРЬ-2008», 22-24 апр. 2008 г. -Новосибирск, 2008. -Т.4, Ч.2. -С. 109-112.

2 Ясырова, О.А. Разработка метода определения плотности нефтепродуктов / О.А. Ясырова, Г.В. Шувалов // Сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп., Омск. фил.; сост. В.А. Глушец. -Омск, 2008. -Вып.6. -С. 367-370.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *нефтепродукты, плотность, объемное расширение*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, зам. директора ФГУП «СНИИМ»
Мамонов Анатолий Алексеевич, старший научный сотрудник ФГУП «СНИИМ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»*

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного
Знамени научно-исследовательский институт метрологии»**

Г.В. Шувалов, А.П. Ильин, И.В. Клековкин

APPLICATION NANOPOWDERS OF METALS FOR UPDATING OF PROPERTIES OF FUELS-LUBRICANTS

«Siberian research institute to metrologies»

G.V. Shuvalov, A.P. Il'in, I.V. Klekovkin

In article questions of creation of additives to lubricants on a basis nanopowders metals are considered and their basic properties are considered.

Keywords: nanopowders metals, an additive to lubricants, engine oil

Рассмотрены вопросы создания добавок к смазочным материалам на основе нанопорошков металлов и рассмотрены их основные свойства.

Развитие нанотехнологий открывает большие перспективы для разработки новых материалов в различных отраслях промышленности, которая все чаще испытывает на себе влияние этой, образно выражаясь, «индустриальной революции XXI века». Новые технологии, основанные на современных знаниях и исследованиях, предоставляют значительный потенциал для создания высокотехнологичных продуктов и процессов, отличающихся гарантированными показателями надежности, развивают принципы получения современных «суперматериалов».

Так, например, открываются большие перспективы для разработки новых материалов для топливо-энергетического комплекса. Направления использования нанотехнологий в топливо-энергетическом комплексе связаны с использованием наноматериалов для изготовления деталей машин, работающих в условиях повышенных механических нагрузок, в частности, в узлах трения. Кроме того, для решения различных прикладных задач, связанных с фильтрованием нефтепродуктов, эффективно использовать нанопористые материалы, среди которых наибольшее распространение получили нанопористые мембраны.

Наряду с применением нанопорошков металлов в традиционных областях материаловедения, в последнее время возрос интерес к их использованию для повышения срока службы машин и механизмов – применение металлоплакирующих смазочных материалов. Под металлоплакированием понимается процесс нанесения на поверхности трения пленки металла из смазочного материала, натирание его на материал основы и закрепления его за счет адгезии, диффузии и химического взаимодействия с основным материалом. При использовании металлоплакирующих смазочных материалов на поверхностях пар трения образуются тонкие пленки металлов (сервовитные пленки) [1]. Процесс образования металло-

плакирующих пленок был первоначально открыт как «эффект избирательного переноса». Авторами этого открытия Д.Н. Гаркуновым и И.В. Крагельским было обнаружено, что при трении медных сплавов о сталь в условиях граничной смазки происходит явление избирательного переноса меди из твердого раствора медного сплава на сталь и обратного ее переноса со стали на медный сплав, сопровождающееся уменьшением коэффициента трения.

Среди металлоплакирующих смазочных составов большой интерес представляют суспензии порошков металлов в маслах [2]. Применение нанопорошков (НП) металлов дает ряд преимуществ по сравнению с более крупными порошками [3, 4]. Во-первых, нанопорошки имеют относительно небольшую скорость седиментации в маслах. Во-вторых, порошки металлов наноразмерного диапазона имеют склонность к спеканию, и при существенно меньших усилиях они образуют сплошные пленки. Образование такой пленки и поддержание ее толщины в процессе трения является динамическим процессом. Известны металлоплакирующие смазочные составы, из которых при трении наносятся пленки меди и медных сплавов, например «Гарант». В США выпускаются в промышленных масштабах добавки на основе порошков сплавов меди «Restorer» и «Repower», а во Франции, также на основе порошков сплавов меди, производится добавка «Metal-5». Эти добавки содержат микронные порошки в жидких маслах. Анализ с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии поверхности медных пленок после их нанесения показал, что их поверхность активно адсорбирует из масел добавки, содержащие гетероатомы (азот, серу, кислород). Извлечение антифрикционных, антипенных и других присадок приводит к ускоренному старению масел. Кроме того, появление в масле ионов меди (II) приводит к ускорению окислительной деструкции углеводородов.

В 1986 году в НИИ высоких напряжений была разработана на основе нанопорошков железа металлоплакирующая присадка «СТАРТ» для двигателей внутреннего сгорания, содержащая маслорастворимую и нерастворимую в масле составляющие [5]. При добавлении присадки «СТАРТ» в масло двигателей ЯМЗ-240 и КамАЗ-740 в количестве 0,2 масс. % (по железу) наблюдалось снижение износа хромосодержащих деталей цилиндро-поршневой группы двигателя ЯМЗ-240 в 2,1 раза, снижение износа втулок верхних головок шатунов в двигателе ЯМЗ-240 в 1,3 раза, а в двигателе КамАЗ-740 – в 3,9 раза. Кроме того, присадка «СТАРТ» обладает хорошими каталитическими свойствами: использование присадки позволило уменьшить дымность отработавших газов двигателей в 2-4 раза.

Триботехнические испытания показали, что при добавлении НП железа в количестве 0,3 масс. % в масло МГ-10ГИ во всем диапазоне нагрузок наблюдалось снижение коэффициента трения до 30-40% по сравнению с исходным маслом (рисунок 1). Дальнейшими исследованиями [6] установлено, что при малых содержаниях (0,01–0,05 масс. %) НП железа, меди, сплава железо-медь (25%) в масле наиболее существенным является снижение коэффициента трения, а при высоких – уменьшение износа. Повышение содержания НП приводит к увеличению скорости нанесения пленок. В это время коэффициент трения возрастает, а затем происходит уменьшение коэффициента трения и унос материала пленки. При оптимальном содержании НП нанесение пленки и ее унос происходят медленно и с относительно небольшой амплитудой колебания коэффициента трения.

Повышение антифрикционных свойств низкосортных смазочных масел проведено путем электрического взрыва медных проводников непосредственно в этих маслах, в результате чего образуются НП меди и углеродные кластеры (фуллерены) [7-9].

Были также изучены триботехнические характеристики суспензии НП меди (0,03 масс. %) в индустриальном масле И-30 и масла, содержащего кластеры углерода [7, 8]. Исследовались зависимости коэффициента трения от нагрузки для пары трения «сталь-

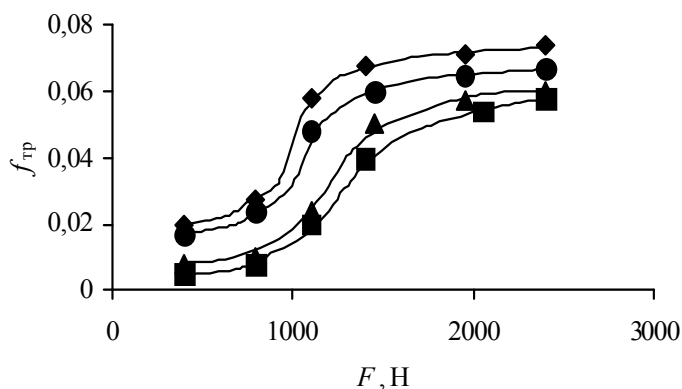


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента трения от нагрузки: ■-исходное масло МГ-10ГИ; ◆-масло с добавлением 0,3% НП железа; ▲-масло с НП после отстаивания в течение 6 суток; ●-масло с НП после отстаивания в течение 10 суток

сталь» в присутствии исходного индустриального масла, суспензии, содержащей НП меди, и масла, содержащего углеродные кластеры. Во всем диапазоне нагрузок наблюдалось снижение коэффициента трения до 40% по сравнению с исходным индустриальным маслом. Интервал допустимых нагрузок на узел трения увеличивался в 1,5 раза. Вместо износа имело место нанесение медной пленки толщиной 1-2 мкм на обе поверхности пары трения.

Как было указано выше, использование нанопорошков меди в качестве присадок к маслам имеет ряд недостатков, поэтому ведется поиск добавок нанопорошков, не ухудшающих характеристики масел и образующих сплошные металлические пленки. В работе [10] рассмотрена возможность применения смеси НП меди и никеля (0,05-0,80 масс. %) в качестве металлоплакирующей добавки в моторные масла. Введение в масло небольших количеств смеси нанопорошков (0,05-0,20 масс. %) привело к уменьшению коэффициента трения на 30–70 % при средних нагрузках 160-1000 МПа (таблица 1). При увеличении их содержания (более 0,20 масс. %) коэффициент трения возрастал, наблюдались колебания его значений. Имелась также тенденция к уменьшению усилия схватывания (сваривания) поверхностей трения с увеличением содержания НП в масле.

Таблица 1 – Зависимость коэффициента трения от содержания смеси нанопорошков меди и никеля в масле при различных нагрузках

Содержание НП, масс. %	Нагрузка, МПа								
	20	80	160	320	640	960	1200	1300	1400
0,00	0,04	0,08	0,11	0,13	0,17	0,20	0,32	0,54	св.
0,05	0,05	0,07	0,10	0,10	0,11	0,15	0,21	0,39	св.
0,10	0,04	0,05	0,07	0,09	0,10	0,13	0,18	0,26	св.
0,15	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,11	0,16	0,24	св.
0,20	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,17	0,23	св.
0,30	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,12	0,16	0,25	св.
0,40	0,18	0,28	0,28	0,34	0,28	0,28	0,32	0,51	св.
0,80	0,21	0,20	0,26	0,24	0,30	0,68	св.	св.	св.

Обозначения: св.-сваривание (схватывание) накладки и вала

Динамика изменения температуры (рисунок 2) накладки в паре трения «вал-накладка» показывает, что рост температуры практически соответствует увеличению коэффициента трения: чем больше коэффициент трения, тем выше температура в узле трения. В то же время имелся оптимум по содержанию нанопорошков, равный 0,15-0,20 масс. %, при котором коэффициент трения и температура минимальны.

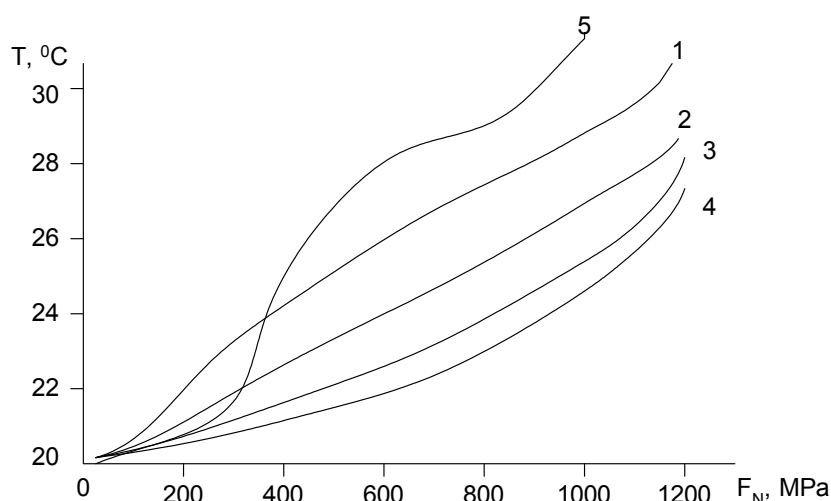


Рисунок 2 – Зависимость температуры накладки от нагрузки: 1-исходное масло; суспензии смесей нанопорошков меди и никеля в масле; 2-0,05 масс.%; 3-0,10 масс.%; 4-0,20 масс.%; 5-0,40 масс. %

Было установлено, что износ симбатно уменьшался с увеличением содержания нанопорошков в масле (таблица 2): при содержании более 0,20 масс. % износ изменял знак, то есть вместо износа происходило нанесение нанопорошков в виде пленок.

Таблица 2 – Зависимость износа накладки от содержания смеси нанопорошков меди и никеля в масле

Содержание нанопорошка, масс. %	Изменение массы, $\times 10^{-4}$ г	Скорость изменения массы, $\times 10^{-4}$ г/ч
0	-38	-25
0,10	-4	-2,7
0,20	+19	+13
0,40	+48	+32

Таким образом, проведенными исследованиями было установлено, что нанопорошки металлов могут быть эффективно использованы при создании металлоплакирующих смазочных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. -М.: Машиностроение, 1989. -328 с.
- 2 Долговечность трущихся деталей машин. Вып. 3. / под ред. Д.Н. Гаркунова. -М.: Машиностроение, 1988. -272 с.
- 3 Пат. 1730842 СССР. Смазочный состав / Ильин А.П., Краснятов Ю.А., Елизаров А.В., Чернов М.Г. -Приоритет 14.02.90.
- 4 Пат. 2132363 СССР. Металлоплакирующий смазочный состав / Ильин А.П., Петрунин В.Ф. -Приоритет 24.04.97.
- 5 Ильин, А.П. Применение электровзрывных ультрадисперсных порошков в качестве добавок к маслам / А.П. Ильин, Ю.А. Краснятов, С.А. Ларионов // Получение, свойства и применение энергонасыщенных порошков металлов и их соединений: тез. докл. Рос. конф. / НИИ ВН при ТПУ. -Томск, 1993. -С. 83.
- 6 Ильин, А.П. Динамические эффекты в процессе трения при плакировании ультрадисперсными порошками / А.П. Ильин, Г.А. Медведев, В.Ф. Петрунин // Физикохимия ультрадисперсных (нано-) систем: тез. докл. VI Всерос. конф. / МИФИ. -М., 2002. -С. 397.
- 7 Назаренко, О.Б. Особенности формирования продуктов электрического взрыва проводников в конденсированных средах: дис. ... канд. техн. наук / О.Б. Назаренко. -Томск, 1996. -129 с.
- 8 Ильин, А.П. Модифицирование минеральных масел электрическим взрывом проводников / А.П. Ильин, О.Б. Назаренко // Высоковольт. техника и электротехнология: межвуз. сб. науч. тр. -Иваново, 1997. -Вып.1. -С. 71-73.
- 9 Влияние фуллера С60 на характеристики трения и изнашивания стали / Б.М. Гинзбург [и др.] // Письма в ЖТФ. -1995. -Т.21, Вып.22. -С. 62-66.
- 10 Ильин, А.П. Влияние суспензии «моторное масло + смесь нанопорошков меди и никеля» на трибологические свойства пары трения «углеродистая сталь-низколегированная сталь» /А.П. Ильин, О.Б. Назаренко, С.В. Рихерт // Изв. ТПУ. -2004. -Т.307, №3. -С. 77-79.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *нанопорошки металлов, добавки к смазочным материалам, моторное масло*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, зам. директора ФГУП «СНИИМ»*
Ильин Александр Петрович, докт. техн. наук, старший научный сотрудник ФГУП «СНИИМ»
Клековкин Иван Владимирович, начальник лаборатории ФГУП «СНИИМ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630004, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»*

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕЙСА НА МОЩНОСТЬ ТУРБОАГРЕГАТА МОРСКОГО ГАЗОВОЗА

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

А.В. Семенюк, С.А. Гармаш

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF FLIGHT ON POWER OF A TURBINE UNIT SEA LNG-CARRIER
«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoiy»
 A.V. Semenyuk, S.A. Garmash

Are reduced results experimental researches of influence of operation factors, including changes of parameters of environment in the course of execution of flights, to vessel performances. Lowering of power of the principal drive in comparison with passport indexes is displayed.

Keywords: experimental researches, steam turbine plant, ship power installation, waves, a wind, power, vessel speed

Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния эксплуатационных факторов, в том числе и изменения параметров окружающей среды в процессе выполнения рейсов, на характеристики судна. Показано снижение мощности главного двигателя по сравнению с паспортными показателями.

Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния эксплуатационных факторов, в том числе и изменения параметров окружающей среды в процессе выполнения рейсов, на характеристики судна. Показано снижение мощности главного двигателя по сравнению с паспортными показателями.

Все судовые турбоагрегаты после изготовления и сборки на заводе, монтажа на судне,

ревизии или капитального ремонта проходят проверочные испытания. Они подразделяются на испытания головного образца и серийных турбомашин.

Испытания головной машины проводятся для нового турбоагрегата, отличающегося по конструкции или техническим характеристикам от предыдущих моделей. Проверкам подвергаются все механизмы турбоустановки. Это способствует устранению недостатков и обеспечению необходимой надежности и экономичности судовой энергетической установки (СЭУ). Испытания состоят из трех этапов [1].

Заводские стендовые испытания проводятся под полной нагрузкой с рабочими параметрами пара. В стендовых испытаниях можно с наибольшей точностью определить расход рабочего тела и мощность агрегата, произвести тензометрирование нагруженных деталей и узлов.

Стендовые испытания делятся на теплотехнические, при которых определяются удельные расходы пара, масла, топлива (для газотурбинных двигателей) на всех указанных в задании режимах, и на прочностные (или испытания на надежность действия). В этом случае определяются напряжения в узлах, температуры (подшипников, дисков, ротора и т.д.). Анализируется поведение узлов при наборе мощности и перемене хода, при быстром прогреве из холодного состояния и др.

Стендовые испытания головного образца являются основным видом испытаний и подразделяются на доводочные, которые не могут быть ограничены во времени, поскольку они должны проводиться до устранения всех замеченных недостатков и неисправностей, и сдаточные. Последние выполняются по согласованной с заказчиком программе. При этом должны быть проведены все наладочные работы по системе автоматического регулирования СЭУ.

Для ознакомления с условиями эксплуатации главного турбозубчатого агрегата (ГТЗА) целесообразно привлечение к стендовым испытаниям эксплуатационного персонала – механиков плавсостава.

Испытания на швартовах имеют целью проверить качество монтажных и сборочных работ ГТЗА, валопровода, вспомогательных механизмов и трубопроводов, убедиться в эффективности и надежности их функционирования. Они проводятся по определенной программе на малых оборотах в течение 3-4 ч.

Ходовые и приемсдаточные испытания являются последними перед сдачей судна в эксплуатацию. Они проводятся, с одной стороны, для выявления в процессе движения судна надежности, экономичности и других характеристик всей энергетической установки, гарантируемых заводом-изготовителем, и с другой, – предоставления плавсоставу апробированных правил технической эксплуатации всего комплекса механизмов, аппаратов, автоматики и пр. на переменных ходовых режимах при пуске и останове.

Проведение теплотехнических испытаний судовых турбинных установок при ходовых испытаниях очень сложно. Трудности заключаются в необходимости соблюдения режима работы для получения точных зависимостей между скоростью судна, частотой вращения гребного вала и мощностью ГТЗА в условиях изменяющегося состояния моря, ветра и осадки корпуса.

Измерения расходов жидкостей на судах зависят от точности тарировки емкостей, которая, как правило, имеет большую погрешность, чем в условиях заводского стенда.

В судовых условиях трудно, а иногда невозможно отделить конденсат главных турбин от конденсата вспомогательных механизмов. Трудно проверить точность показаний различных приборов и их годность для целей испытаний. Поэтому при составлении теплового баланса СЭУ целесообразно пользоваться данными стендовых испытаний, беря за основу параметры пара перед соплами, число открытых сопел, вакуум в конденсаторе и частоту вращения гребного винта.

Все турбоагрегаты серийной постройки, то есть изготовленные по одним и тем же чертежам и техническим условиям, после подробных исследований головного судна также подвергаются испытаниям. Выявленные недостатки и неисправности при испытании головного турбоагрегата должны быть устранены во всех последующих серийных машинах.

Испытания серийных ГТЗА проводятся в той же последовательности, что и испытания головного образца, однако с другими задачами и по сокращенной программе, согласованной с заказчиком.

Полезный эффект СЭУ зависит от факторов, связанных с условиями и организацией эксплуатации.

Эксплуатационные факторы, в том числе и изменение параметров окружающей среды в процессе выполнения рейсов, оказывают влияние на работу главного двигателя (ГД) через трансформирование винтовых характеристик судна и прямым воздействием на элементы СЭУ.

Режим работы главного двигателя определяется его нагрузкой и частотой вращения гребного вала. Винтовая характеристика может «утяжелиться» по причинам обрастания корпуса и винтов, увеличения осадки судна, ледовой обстановки ветровой и волновой нагрузки. По опытным данным средние потери скорости на волнении при силе ветра 7 баллов (степень волнения 6 баллов) составляет для танкеров 5,5%; для сухогрузов 6,5%; для лесовозов 8,5%; для балкеров 10,5% [2].

Повышенная вибрация корпуса и удары волн из-за недостатка балласта при плавании в штормовых условиях заставляют преднамеренно снижать скорость судна. Поэтому судоводители предпочитают увеличивать балласт. Оптимальное его количество для обычных условий плавания составляет 30-40% дедвейта, а для тяжелых – 50%.

При плавании в северных широтах винтовые характеристики утяжеляются в результате обледенения и движения во льдах. Влияние обледенения аналогично увеличению водоизмещения.

Во время бункеровки на судно принимают такое количество топлива, которое достаточно для выполнения рейса. Излишний запас приводит к снижению объема перевозимого груза. Согласно Правилам технической эксплуатации СЭУ запас топлива должен состоять из основного, достаточного для совершения полного рейса, и аварийного (штормового), величину которого рассчитывают в процентах от основного в зависимости от продолжительности рейса.

Определение потери скорости судна на волнении требует специальных наблюдений и трудоемких расчетов. В судовых условиях ее можно определить по приближенным формулам, например [3]:

$$V = V_0 - (0,745h_e - 0,275qh_e)(1 - 1,35 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta \cdot V_0),$$

- где V – скорость судна на волнении, уз;
 V_0 – скорость на тихой воде, уз;
 h_e – высота волн 3%-ной обеспеченности, м;
 q – курсовой угол волны, рад;
 Δ – водоизмещение судна, т.

Для возможности использования этой формулы применительно к различным классам современных судов, в частности газовозов, необходимы дополнительные опытные данные. Такие исследования были проведены на судне для перевозки сжиженного природного газа (СПГ) «GRAND ANIVA» [4]. Также были изучены вопросы влияния конкретных условий рейса на характеристики главной судовой паровой турбины.

На рисунке 1 представлены графики зависимости мощности ГТЗА от скорости судна, из которых следует, что фактически измеренная мощность в условиях эксплуатации несколько больше паспортных данных. Следует отметить, что измерения проводились непосредственно после докования корпуса судна при относительно стабильных начальных и конечных параметрах пара.

Особенно сказываются сила ветра и волновая нагрузка. Так, например, только при попутном ветре (3-5 баллов) в корму экспериментальные точки ложатся вблизи паспортной кривой, которая достаточно хорошо аппроксимируется кубической зависимостью (пунктирная линия)

$$N_e = 3v^3,$$

- где N_e – эффективная мощность турбины, кВт;
 v – скорость судна в узлах.

Большой разброс точек для режимов движения полностью загруженного судна против ветра вызван различными условиями ветровой нагрузки и волнения моря, влияние которых для различных спецификационных скоростей показано на рисунке 2.

Здесь приведены расчетные зависимости по вышеприведенной формуле для курсовых углов $q = 0$ радиан (ветер в корму) и $q = \pi$ радиан (ветер в нос). Как следует из графиков фактическое снижение скорости судна значительно больше по величине (сплошная линия) особенно при высокой волне, хотя поведение кривых при $h_e > 3$ м примерно одинаково.

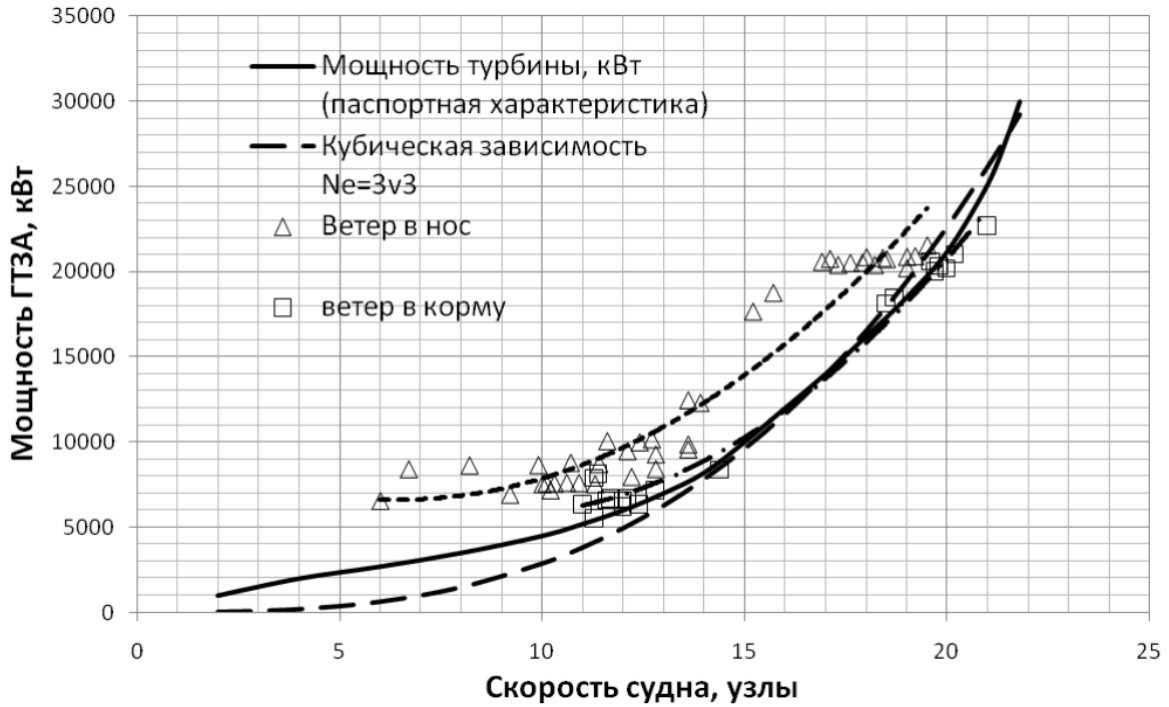


Рисунок 1 – Эксплуатационная мощность ГТЗА газовоза

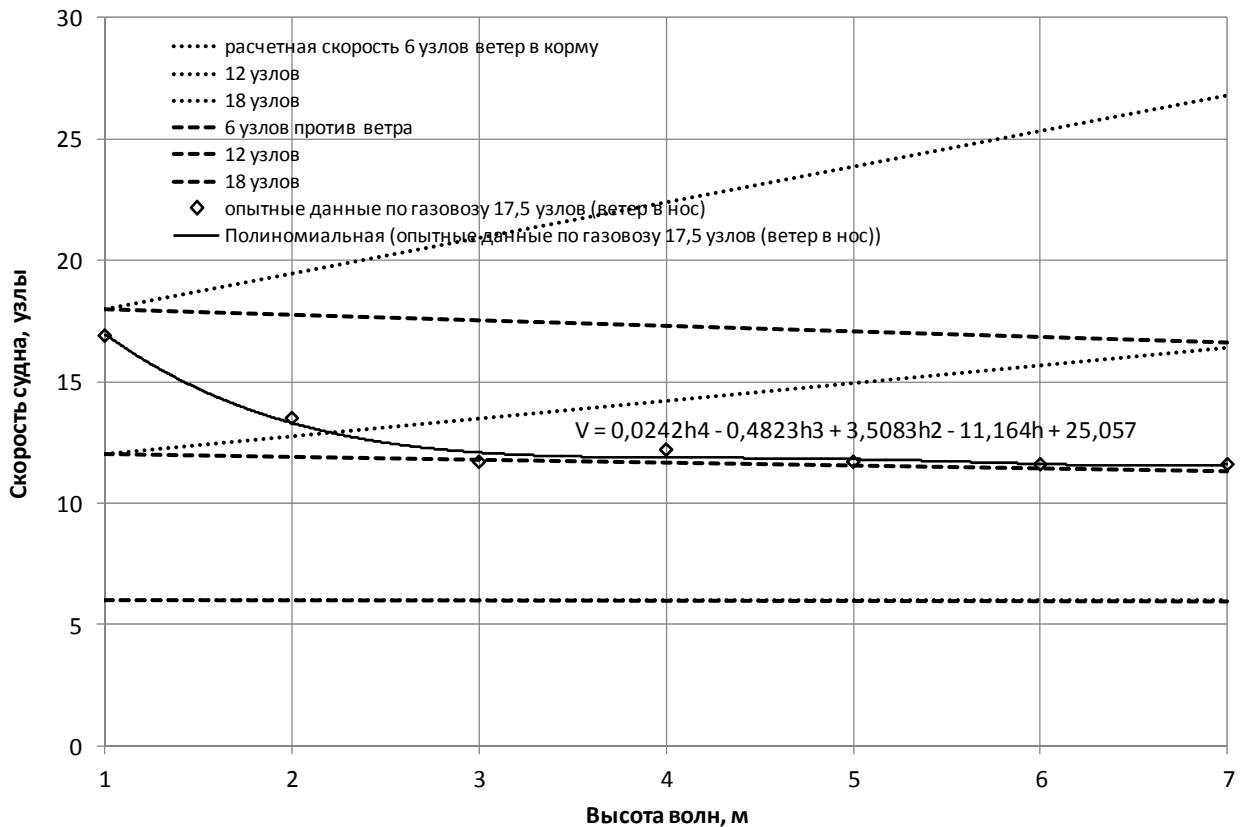


Рисунок 2 – Влияние волнения моря и ветровой нагрузки на скорость судна

Очевидно, что в эксплуатации номинальная характеристика гребного винта может быть обеспечена только при комплексе номинальных условий: соответствующая осадка, чистый корпус, чистая и глубокая вода номинальной плотности, отсутствие ветра, течений и др. Любое отклонение условий от номинальных влияет на относительную поступь винта и его характеристику, следовательно, на соотношение скорости судна и оборотов гребного вала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Маликов, И.В. Современные паровые турбины морских судов / И.В. Маликов. -М.: Мор. трансп., 1960. -376 с.
- 2 Вешкельский, С.А. Справочник моториста теплохода / С.А. Вешкельский, И.В. Черняк. -М.: Транспорт, 1987. -351 с.
- 3 Справочник капитана дальнего плавания / под ред. Г.Г. Ермолаева. -М.: Транспорт, 1988. -48 с.
- 4 Семенюк, А.В. Повышение эффективности тепловой схемы паротурбинной установки морского газовоза / А.В. Семенюк, С.А. Гармаш // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 183-186.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экспериментальные исследования, паротурбинная установка, волны, ветер, мощность, судовая энергетическая установка, скорость судна

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Семенюк Анатолий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Гармаш Сергей Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского» 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

В.Я. Федянин, Ю.А. Квашнин

RENEWED FUEL AND ENERGY RESOURCES FOR AGRICULTURE AND TRANSPORT DEVELOPMENT IN TERRITORY OF ALTAY REGION

«Altai state technical university named I.I. Polzunova»

V.Ya. Fedyanin, Yu.A. Kvashnin

The analysis of potential of nonconventional renewed energy sources in Altay territory is carried out. On the basis of theoretical, experimental researches and natural tests directions of use of the renewed resources accessible to rural consumers in prirodno-climatic conditions of Altay territory are offered.

Keywords: energy potential, water-power engineering, wind power, solar radiation, a biomass

Проведен анализ потенциала нетрадиционных возобновляемых источников энергии в Алтайском крае. На основе теоретических, экспериментальных исследований и натурных испытаний предложены направления использования возобновляемых ресурсов, доступных сельским потребителям в природно-климатических условиях Алтайского края.

В последнее время интерес к нетрадиционным возобновляемым источникам энергии (НВИЭ) обусловлен ростом общественного движения против экологических последствий развития традиционной энергетики, возрастающего удорожания органических видов топлива. Многие осознают, что с ростом потребления ископаемого топлива мы вносим существенный вклад в тепловой баланс планеты Земля, а это может привести к значительным изменениям глобального климата. Использование же возобновляемых видов энергии, связанных с воздействием солнечной радиации на атмосферу, гидро- и литосферу, не нарушает тепловой баланс планеты.

Для оценки возможности использования НВИЭ и их места в общем энергопроизводстве следует в первую очередь определить их реальный потенциал в рассматриваемом регионе.

Основные цели данной работы:

- оценить величину потенциала возобновляемых топливно-энергетических ресурсов в Алтайском крае;
- предложить основные направления развития нетрадиционной энергетики в Алтайском крае.

Малая гидроэнергетика. В соответствии с предварительными оценками гидроэнергетического потенциала рек Ануй, Песчаная, Чарыш и их основных притоков определены возможности строительства малых гидроэлектростанций.

Благоприятные условия для строительства гидроэлектростанций имеются на участке среднего течения реки Ануй – от села Антоньевка до поселка Черный Ануй, протяженностью 135 км. Ниже села Антоньевка река выходит на пологую, равнинную местность. Выше села Черный Ануй строительство ГЭС также нецелесообразно. Для энергетического использования возможно строительство семи станций.

Наиболее благоприятными условиями для энергетического использования обладает участок реки Песчаная от п. Красный Городок до с. Ильинское протяженностью около

100 км. На данном участке река протекает по относительно узкой долине. Долина реки имеет низкую заселенность. На реке Песчаной возможно строительство восьми станций.

Благоприятными условиями для строительства гидроэлектростанций обладает участок реки Чарыш между с. Усть-Белое, расположенным на 9,6 км ниже первого створа, и с. Усть-Кумир. На реке Чарыш возможно строительство шести станций и пяти станций на ее притоках (всего одиннадцать станций).

Для расширения возможности регулирования мощности и исключения значительных колебаний уровня воды в нижнем бьефе планируется каскадное строительство электростанций с водохранилищами верхней и нижней ступеней каскада. Нижняя ГЭС при этом будет работать в режиме контррегулятора с постоянным пропуском воды.

Расчетная суммарная среднегодовая мощность 26-ти мини ГЭС составляет 175 МВт. Таким образом, создание этих генерирующих мощностей решает не только проблемы электроснабжения новых объектов, планируемых к вводу в Алтайском, Смоленском, Солонешенском и Чарышском районах, но и нормализует режимы электроснабжения других объектов Бийского энергоузла.

Ветроэнергетика. Методика определения ветроэнергетического потенциала Алтайского края рассмотрена в опубликованных ранее работах [1, 2].

Для оценки пространственного распределения ветроэнергетического потенциала в Алтайском крае использовались многолетние ряды измерений скорости ветра на метеостанциях с классом открытости не менее 6а-6б, приведенные в Справочнике по климату СССР [3]. Оценка валового потенциала проводилась в несколько этапов:

- рассчитывался ветропотенциал для мест расположения метеостанций, на которых регистрировалось распределение скорости ветра по градациям;
- используя аппроксимацию Вейбула-Гудрича [4], рассчитывался потенциал для мест расположения остальных метеостанций;
- используя географические координаты метеостанций и полученные локальные значения потенциала методами математической обработки результатов, находилась двумерная математическая модель пространственного распределения валового ветроэнергетического потенциала.

Валовой ветроэнергетический потенциал района определялся как произведение средней величины потенциала на площадь территории района.

Величины технического и экономического потенциалов рассчитывались как доли от валового, в соответствии с оценками, приведенными для сходных условий [5].

Энергетический потенциал солнечной радиации. Общая характеристика солнечной радиации на территории Алтайского края и методика оценки климатических и планировочных факторов изложены в публикации [6].

Угол наклона и ориентация поглощающих панелей имеют решающее значение в системе энергоснабжения с использованием солнечных элементов. Для определения оптимального угла наклона в различное время года было осуществлено математическое моделирование с помощью специально разработанной компьютерной программы. Предлагаемый метод оптимизации основывается на сравнительной оценке поступления солнечной энергии на наклонные площадки при различной их ориентации в поле солнечной радиации с использованием опубликованных результатов многолетних наблюдений [7].

Для расчета энергетической экспозиции, получаемой наклонной поверхностью за заданный промежуток времени – час, день, декаду и т.д. – выполняется численное интегрирование экспозиции на сетке с шагом по времени 0,1 ч. Результаты расчетов представлялись в виде отношения энергетической экспозиции, получаемой наклонной поверхностью, к соответствующей экспозиции, получаемой горизонтальной поверхностью.

Наблюдения за интенсивностью солнечной радиации в Алтайском крае проводились лишь на двух метеостанциях: р. Благовещенка и Михайловский содокомбинат. Этих данных недостаточно для оценки энергетического потенциала солнечной радиации на территории края. Поэтому для определения характеристик радиационного режима использовались результаты многолетних исследований солнечного сияния, проводимых на метеостанциях Алтайского края и метеостанциях Новосибирской, Кемеровской областей, Республики Алтай, расположенных вблизи административной границы Алтайского края.

Для расчетов энергетического потенциала солнечной радиации территории Алтайского края использовались данные актинометрических наблюдений, проведенных на метеостанциях, список которых приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Данные актинометрических наблюдений

Станция	Высота, м	Широта, град.	Долгота, град.
Барнаул	157,6	53,4	83,8
Барнаул, агро	228,6	53,4	83,8
Белокуриха	251,0	52,0	85,0
Благовещенка	127,1	52,8	79,9
Горно-Алтайск	258,0	51,9	86,0
Гурьевск	225,8	54,3	85,9
Змеиногоorsk	354,6	51,2	82,0
Карасук	113,6	53,7	78,0
Киселевск (Афонино)	287,2	53,9	86,8
Кузедеево	290,8	53,3	87,2
Родионо	159,8	52,8	80,1

Пространственное распределение энергетических характеристик солнечной радиации для различных районов Алтайского края рассчитано по методике, аналогичной расчету ветроэнергетического потенциала.

Энергетический потенциал биомассы. Реальной альтернативой существующим системам тепло- и электроснабжения для сельских районов Алтайского края могут стать локальные энергокомплексы на базе использования местных возобновляемых биоресурсов (дрова, древесные отходы, солома злаковых культур и т.п.).

Потенциал энергетического использования древесины и древесных отходов характеризуется следующими цифрами: дрова – 556,4 тыс. м³; отходы лесосечные – 384,4 тыс. м³; отходы деревообработки – 374,3 тыс. м³.

Отходы растениеводства (солома, лузга подсолнечника, шелуха гречихи) – 2465,0 тыс. т (по данным за 2007 г.).

Запасы торфа местного значения – 83,3 млн. т. Использование торфа сопряжено с необходимостью совершенствования технологии его добычи, сушки, приготовления брикетов и полубрикетов, а также технологии сжигания (включая газогенераторную технику). Торфяные предприятия края способны при соответствующих условиях обеспечить замену на торф части привозного угля для частных потребителей и мелких котельных, а в перспективе и для ряда ведомственных ТЭЦ.

К органическим отходам сельскохозяйственного производства относятся и экскременты животных. Благодаря относительно высокой теплоте сгорания (14-19 МДж на 1 кг сухого вещества) эти материалы обладают высоким энергетическим потенциалом. Однако исходное сырье имеет высокую влажность (не менее 70%). Поэтому наиболее эффективный способ использования энергетического потенциала экскрементов сельскохозяйственных животных – это предварительное анаэробное сбраживание, позволяющее получать так называемый биогаз (смесь CH₄ и CO₂). Биогаз обладает теплотой сгорания 20-25 МДж/м³. Кроме того, технология анаэробного сбраживания позволяет получать жидкий бишлам, который является ценным органическим удобрением.

В Алтайском крае во всех видах хозяйств (сельскохозяйственные организации, крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели, хозяйства населения) содержится следующее количество домашних животных: крупный рогатый скот – 865,1 тыс. шт.; свиньи – 470,5 тыс. шт.; куры – 7148,0 тыс. шт. С помощью технологии анаэробного сбраживания в год из отходов животноводства можно получить 332,9 млн. м³ биогаза и 1086,3 тыс. т удобрений для растениеводства. Потенциал биогаза, который может быть получен за счет анаэробного сбраживания осадков сточных вод крупных городов Алтайского края, составляет около 19,1 млн. м³ в год.

Особенностью биомассы, как топлива, является низкое содержание минеральных веществ и незначительное (около 1%) количество золы, образующейся при горении. Зола, образующаяся при сгорании чистой биомассы, тугоплавка и удаление её из зоны горения топки не представляет особой технической сложности. Однако если биомасса загрязнена и содержит большое количество минеральных включений, ситуация существенно меняется. Поскольку минеральные включения легкоплавки, при горении сильно загрязненной биомассы образуется шлак, который имеет химическое сродство с кирпичом. При высоких температурах в топочных устройствах шлак спекается с поверхностью кирпичной кладки стенок топки, что затрудняет шлакоудаление. Наряду с положительными свойствами биомасса имеет

особенности, отрицательно влияющие на работу топочных устройств. К ним относится способность поглощать влагу. При хранении под открытым небом влажность биомассы повышается. Например, влажность отходов лесозаготовок может составлять 45-55%. Повышение влажности снижает низшую теплоту сгорания топлива, что приводит к снижению энергетической эффективности топочных устройств.

Основной неутрализованный источник лесозаготовок – некондиционная древесина, ветки, кора, остающиеся на лесосеке. При существующей технологии лесозаготовок на лесосеке остается около 50% всего заготавливаемого объема биомассы. Для Алтайского края это составляет 500 тыс. м³ в год. Переработка этих отходов в газогенераторах позволит получить генераторный газ в количествах, соответствующих не менее 122 тыс. т условного топлива [8].

Химическая энергия горючих компонентов биомассы преобразуется в тепловую энергию газообразных продуктов горения, которые из топочного устройства передаются в тот или иной теплоиспользующий агрегат: водонагреватель, парогенератор, воздушный калорифер, сушильную камеру и т.п. Если биомасса содержит большое количество негорючих компонентов, имеет повышенную влажность или включает в себя экологически вредные вещества, то её прямое сжигание нерационально, оно энергетически малоэффективно и вызывает загрязнение окружающей среды. Термохимическая обработка биомассы (пиролиз) позволяет превратить органическую часть биомассы в газообразное или жидкое топливо, оставив загрязняющие примеси в несгораемом зольном остатке.

Технология энергетического использования отходов животноводства включает две стадии: анаэробное сбраживание отходов животноводства (получение биогаза) и использование биогаза путем его прямого сжигания или в качестве моторного топлива.

Изучение особенностей процесса сжигания биогаза показало [6], что могут использоваться стандартные горелочные устройства с минимальной доработкой (увеличение диаметра сопла и огневых отверстий горелки, а также установка регулируемой диафрагмы).

Биогаз, полученный при анаэробном сбраживании отходов животноводства, наиболее выгодно использовать в качестве моторного топлива в газовом двигателе с электрогенератором. Параметры топлива зависят от состава биогаза. Типичные значения теплотворной способности – 23,8 МДж/м³, октанового числа – 110, температуры воспламенения – 540 °С. Современные мини-ТЭЦ осуществляют комбинированное производство электроэнергии и тепла с общим энергетическим КПД, равным 90%, в том числе при выработке электрической энергии – 25%, тепла – 65%.

Ресурсы нетрадиционных возобновляемых источников энергии, доступных потребителям в Алтайском крае, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Ресурсы нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ), млн. т условного топлива/год

Ресурсы	Валовый потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Малая гидроэнергетика	5,2	1,7	0,9
Энергия биомассы	0,8	0,3	0,2
Энергия ветра	1126,0	87,4	0,4
Энергия солнечной радиации	26038,3	26,0	0,2
Низкопотенциальное тепло	529,9	3,4	0,4
Итого НВИЭ	27700,2	118,9	2,1

Выводы. Комплексная модернизация систем энергоснабжения на основе возобновляемых источников позволит направить часть финансовых потоков, идущих в настоящее время на заготовку привозного угля и нефтепродуктов, на создание новых рабочих мест на территории региона. Эти факторы наряду со снижением техногенных загрязнений, связанных со сжиганием традиционного органического топлива, будут способствовать сохранению природной среды и приведут к положительным изменениям социально-экономической ситуации в регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мещеряков, В.А. Ветроэнергетический потенциал Алтайского края / В.А. Мещеряков, В.Я. Федянин // Ползунов. вестн. / АлтГТУ. -Барнаул, 2007. -№4. -С. 92-94.
- 2 Федянин, В.Я. Оценка параметров ветроагрегатов, определяющих эффективность выработки электроэнергии / В.Я. Федянин, В.А. Мещеряков // Вестн. Алт. науки / АлтГТУ. -Барнаул, 2008. -№2(2). -С. 122-127.

- 3 Справочник по климату СССР. Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области и Алтайский край. Ч. III. Ветер. - Л.: Гидрометеиздат, 1966. -456 с.
- 4 Евстигнеев, В.В. Физические основы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для теплоснабжения: учеб. пособие / В.В. Евстигнеев, В.Я. Федянин, В.В. Чертищев. -Барнаул: Изд-во АлтГТУ. -164 с.
- 5 Концепция развития и использования возможностей малой и нетрадиционной энергетики в энергетическом балансе России: утв. Минтопэнерго РФ 04.11.94. -121 с.
- 6 Федянин, В.Я. Потенциал энергосбережения в зданиях и возможности использования возобновляемых источников энергии для повышения эффективности систем теплоснабжения / В.Я. Федянин, М.Г. Зуев // Вестн. Алт. науки / АлтГТУ. - Барнаул, 2004. -Вып.1. -С. 6-61.
- 7 Справочник по климату СССР. Вып.20. Томская, Кемеровская области, Алтайский край и Горно-Алтайская автономная область. Метеорологические данные за отдельные годы. Ч.I. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. -Новосибирск: Наука, 1977.
- 8 Лавров, И.М. Исследование энергопотенциала биомассы в Алтайском крае / И.М. Лавров, В.Я. Федянин // Вопр. горн. природопользования: сб. науч. ст. /Евраз. Экол. Центр. -Барнаул, 1994. -С. 111-114.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *энергетический потенциал, гидроэнергетика, ветроэнергетика, солнечная радиация, биомасса*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Федянин Виктор Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *Квашнин Юрий Алексеевич, ст. преподаватель ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова» 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ГЛОБАЛЬНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЕ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

А.П. Сеначин, В.А. Синицын

THE PROBLEM OF CHOICE OF THE ENERGY OF ACTIVATION OF THE GLOBAL CHEMICAL KINETICS IN A NUMERICAL SIMULATION OF SELF-IGNITION OF FUEL IN A DIESEL
«Altai state technical university named I.I. Polzunova»
 A.P. Senachin, V.A. Sinitsyn

The results of numerical simulation of the influence of the activation energies of the global chemical kinetics on the physico-chemical conditions of the ignition in the engine and the numerical value of the delay of ignition of the fuel.

Keywords: the activation energy, the global chemical kinetics, numerical simulation, self-ignition, fuel, diesel

Приводятся результаты численного моделирования влияния величины энергии активации глобальной химической кинетики на физико-химические условия самовоспламенения в дизеле и задержку воспламенения топлива.

В настоящее время задержку воспламенения (период индукции) топлива в дизеле определяют исключительно на основе экспериментальных данных или эмпирических формул, имеющих весьма ограниченное применение. В литературе практически отсутствуют попытки определения задержки воспламенения топлива в дизеле теоретическими методами, за исключением работ, в которых получены качественные зависимости влияния параметров процесса на задержку воспламенения топлива [1-3]. Задача о самовоспламенении топлива в дизеле относится к динамической теории теплового взрыва [4].

В работах [5-7] предприняты попытки постановки задачи о задержке воспламенения топлива в дизеле на основе модели самовоспламенения локального объема (ЛО), находящегося на периферии топливного факела в цилиндре двигателя. При этом возникла проблема выбора энергии активации глобальной химической кинетики для дизельного топлива. Неоднозначность выбора энергии активации, влияющей на особенности физико-химического процесса самовоспламенения топлива, является одной из принципиальных трудностей теоретического определения задержки воспламенения топлива в дизеле, что является предметом нашего исследования.

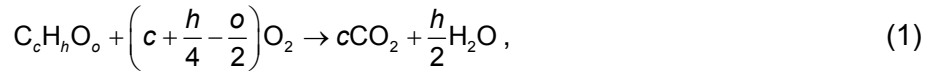
Математическая модель самовоспламенения топлива в дизеле предполагает нахождение ЛО на внешней границе топливно-воздушного факела при следующих допущениях:

- топливно-воздушный факел поджигается от воспламенившегося ЛО, образовавшегося практически в момент начала подачи топлива в цилиндр из испарившихся мельчайших капель (время испарения топлива в ЛО не учитываем);
- капли испаряются за счет внутренней энергии ЛО, который в дальнейшем не обмени-

вается энергией и массой с окружающей системой (за исключением работы сжатия поршнем);

– полагаем, что образовался один ЛО.

В ЛО протекает химическая реакция по уравнению макрокинетики



в условную молекулу дизельного топлива $C_c H_h O_o$ входит:

- c – атомов углерода;
- h – атомов водорода;
- o – атомов кислорода.

Состав смеси в ЛО в момент начала впрыска топлива (при $\phi = \phi_1$) может быть определен на основе состава газа в начале процесса сжатия (при $\phi = \phi_a$) и условия испарения жидкого топлива в ЛО при заданном коэффициенте избытка воздуха $\alpha_{ЛО}$. В расчете на 1 моль имеем молей: $\nu_{1ЛО}^{(1)}$ кислорода, $\nu_{2ЛО}^{(1)}$ азота, $\nu_{3ЛО}^{(1)}$ паров воды, $\nu_{4ЛО}^{(1)}$ аргона, $\nu_{5ЛО}^{(1)}$ двуокиси углерода и $\nu_{6ЛО}^{(1)}$ паров топлива.

Начальное и текущее уравнения состояния и начальная температура смеси в ЛО запишутся:

$$p_1 w_1 = \nu_{ЛО}^{(1)} R \theta_1 = R \theta_1 \left(\sum_{j=1}^5 \nu_{jЛО}^{(1)} + \nu_{6ЛО}^{(1)} \right); \quad (2)$$

$$p w = \nu_{ЛО} R \theta = R \theta \left(\sum_{j=1}^5 \nu_{jЛО} + \nu_{6ЛО} \right); \quad (3)$$

$$\theta_1 = \frac{T_1 \sum_{j=1}^5 \nu_{jЛО}^{(1)} C_{pj} + [(T_f - T_s) C_f - L_s] \nu_{6ЛО}^{(1)}}{\sum_{j=1}^5 \nu_{jЛО}^{(1)} C_{pj} + \nu_{6ЛО}^{(1)} C_{p6}}, \quad (4)$$

где T_1 – температура газа в цилиндре при $\phi = \phi_1$;

T_f, C_f – температура и молярная теплоемкость поступающего жидкого топлива;

T_s, L_s – температура кипения и молярная теплота испарения топлива.

Скорость реакции в ЛО, когда порядки реакции по горючему и окислителю равны $s_6 = s_1 = s/2$, а также скорости по компонентам смеси запишутся:

$$W = k(a_1 a_6)^{s/2} \left(\frac{p}{R \theta} \right)^s \exp \left(- \frac{E}{R \theta} \right). \quad (5)$$

- для паров топлива ($j = 6$) и кислорода O_2 ($j = 1$)

$$W_6 = -W; \quad (6)$$

$$W_1 = \left(c + \frac{h}{4} - \frac{o}{2} \right) W; \quad (7)$$

- для двуокиси углерода CO_2 ($j = 5$) и паров воды H_2O ($j = 3$)

$$W_5 = cW; \quad (8)$$

$$W_3 = \frac{h}{2} W; \quad (9)$$

- для инертных компонентов, азота N_2 ($j = 2$) и аргона Ar ($j = 4$)

$$W_2 = 0; \quad (10)$$

$$W_4 = 0. \quad (11)$$

Скорости изменения числа молей компонентов смеси в ЛО из (1) запишутся:

$$\dot{\nu}_{1ЛО} = -W \left(c + \frac{h}{4} - \frac{o}{2} \right) \frac{R \theta \nu_{ЛО}}{2 \pi n p}; \quad (12)$$

$$\dot{\nu}_{2ЛО} = 0; \quad (13)$$

$$\dot{\nu}_{4ЛО} = 0; \quad (14)$$

$$\dot{v}_{3\text{ЛО}} = W \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{R\theta v_{\text{ЛО}}}{2\pi n p}; \quad (15)$$

$$\dot{v}_{5\text{ЛО}} = Wc \cdot \frac{R\theta v_{\text{ЛО}}}{2\pi n p}; \quad (16)$$

$$\dot{v}_{6\text{ЛО}} = -W \cdot \frac{R\theta v_{\text{ЛО}}}{2\pi n p}, \quad (17)$$

где точка над символом обозначает производную $\dot{v}_j = dv_j/d\phi$ (по углу ПКВ).

Из решения уравнений (12)-(17) находим общее число молей смеси в ЛО и другие характеристики

$$v_{\text{ЛО}} = v_{1\text{ЛО}} + v_{2\text{ЛО}} + v_{3\text{ЛО}} + v_{4\text{ЛО}} + v_{5\text{ЛО}} + v_{6\text{ЛО}}; \quad (18)$$

$$a_{\text{ЛО}} = v_{\text{ЛО}}/v_{\text{ЛО}}; \quad (19)$$

$$\langle M_{\text{ЛО}} \rangle = \sum_{j=1}^6 a_{\text{ЛО}} M_j; \quad (20)$$

$$\langle C_{p\text{ЛО}} \rangle = \sum_{j=1}^6 a_{\text{ЛО}} C_{pj}. \quad (21)$$

Уравнение энергии смеси в ЛО может быть представлено зависимостью

$$\langle C_{p\text{ЛО}} \rangle \dot{\theta} = \frac{R\theta}{p} \cdot \dot{p} - \frac{1}{v_{\text{ЛО}}} \sum_{j=1}^6 \dot{v}_{j\text{ЛО}} H_{j\text{ЛО}}. \quad (22)$$

Поскольку ЛО мал, по сравнению с общим объемом, то протекающие в нем химические реакции не оказывают влияния на динамику давления, объемом жидкого топлива по сравнению с газовой фазой также пренебрегаем. Система включает уравнения динамики общего объема V , законов поступления жидкого топлива \dot{m}_f и изменения массы испарившегося топлива \dot{m}_s в факеле, а также состояния воздушного заряда (смеси общее)

$$RT = pV / \left(\sum_{j=1}^5 \frac{m_j}{M_j} + \frac{m_s}{M_f} \right), \quad (23)$$

и динамики давления (уравнения энергии всей смеси)

$$\dot{p}V \left(\frac{\langle C_p \rangle}{R} - 1 \right) = -p\dot{V} \frac{\langle C_p \rangle}{R} + \frac{C_f(T_0 - T_s)}{M_f} \dot{m}_f + \frac{C_{pf}(T_s - T) - L_s}{M_f} \dot{m}_s + \frac{1}{2\pi n} \sum_n \alpha_n F_n (T_n - T). \quad (24)$$

Расчет задержки воспламенения топлива в ЛО дизеля по уравнениям (3), (5)-(24) и другим проводится путем численного интегрирования системы до тех пор, пока степень выгорания топлива в ЛО не достигнет 99%, то есть период индукции заканчивается при условии

$$v_{6\text{ЛО}}/v_{6\text{ЛО}}^{(1)} \leq 0,01. \quad (25)$$

Оценка энергии активации. Проведенное в работах [6, 7] моделирование задержки воспламенения топлива с энергиями активации E , равными 25140, 76670 и 38000 Дж/моль, при коэффициенте избытка воздуха в ЛО $\alpha_{\text{ЛО}} > 1$ на основе экспериментальных данных показало, что при суммарном порядке реакции $s = 1,5-2,5$, получаемые, путем варьирования $\alpha_{\text{ЛО}}$, в результате решения обратной задачи макрокинетические константы E, s, k удовлетворительно описывают величину задержки воспламенения топлива τ_i на скоростных и нагрузочных характеристиках двигателя, в том числе при изменении геометрической степени сжатия ε . Хотя в окончательном варианте была принята энергия активации $E = 38000$ Дж/моль, но это было волевое решение, поскольку предпочтение было неочевидным.

Кроме того, как отмечает в своем обзоре С.К. Вестбрук (Westbrook Charles K., 2000) в материалах международного симпозиума по горению Proceedings of the Combustion Institute [8], дизельные двигатели существуют уже многие годы, но до недавнего времени основные физико-химические принципы горения в дизеле не были осознаны в достаточной мере. Далее он отмечает, что сравнительно недавно в серии глубоких исследований с лазерной диагностикой Дек (Dec J.E., 1997) дал ясную, самосогласованную картину горения в дизеле [9]. По результатам наблюдений Дека, смесь в дизеле воспламеняется при весьма низком коэффициенте избытка воздуха, порядка $\alpha_{\text{ЛО}} = 0,25$. Эта проблема воспламенения анализиро-

валась с использованием детальной химической кинетики [10]. Показано, что быстрая реакция начинаются, когда температура смеси становится порядка 700 К. Механизм воспламенения смеси идентичен механизму для любых других углеводородов (через накопление, а затем распад H_2O_2 , который наблюдается при достижении некоторой достаточно высокой температуры). Основное отличие от работ [6, 7] заключается в том, что **воспламенение в дизеле происходит в условиях очень богатой топливной смеси**.

В связи с этим, нами проведено численное моделирование задержки воспламенения топлива в дизеле при более широкой вариации коэффициента избытка воздуха в ЛО $\alpha_{ЛО}$, включая область богатой смеси. На рисунке 1 приведена зависимость коэффициента избытка воздуха $\alpha_{ЛО}$ на начальную температуру смеси θ_n и конечную температуру продуктов сгорания θ_k в ЛО. Как видно из рисунка, при $\alpha_{ЛО} < 0,3$ начальная температура смеси ниже 600 К (из-за затрат энергии на испарение топлива), что приводит к увеличению задержки воспламенения. А условия зажигания факела продуктами сгорания в ЛО (не ниже 1700 К) ограничивают возможные значения $\alpha_{ЛО}$ в диапазоне от 0,55 до 1,25.

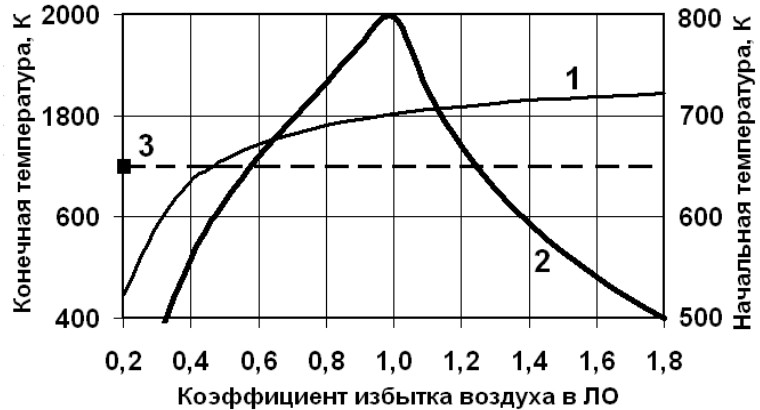


Рисунок 1 – Зависимость начальной θ_n и конечной θ_k температур смеси в ЛО от коэффициента избытка воздуха $\alpha_{ЛО}$: 1-начальная температура; 2-конечная температура; 3-температурное ограничение на условие зажигания топливного факела

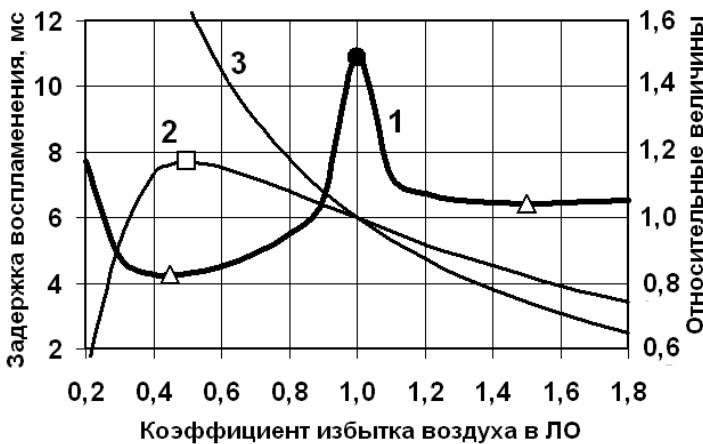


Рисунок 2 – Зависимость задержки воспламенения топлива в дизеле τ_i от коэффициента избытка воздуха в ЛО $\alpha_{ЛО}$ при энергии активации $E = 38000$ Дж/моль ($s = 1,5$): 1-задержка воспламенения; 2-начальная скорость химической реакции; 3-произведение концентраций топлива и окислителя

(Dec J.E., 1997) [9].

На рисунках 3 и 4 приведены зависимости задержки воспламенения топлива τ_i в ЛО от коэффициента избытка воздуха $\alpha_{ЛО}$ для энергии активации смеси $E = 76670$ и $E = 120000$ Дж/моль.

Из рисунка 3 видно, что аналогично рисунку 2 имеется два минимума задержки воспламенения топлива (рисунок 3, светлые треугольнички) – богатого $\alpha_{ЛО} = 0,85$ и бедного $\alpha_{ЛО} = 1,15$, лежащих симметрично относительно стехиометрического состава смеси $\alpha_{ЛО} = 1$ и примерно одинаковой глубины, так что сложно отдать предпочтение какому-либо из них.

На рисунке 2 приведена зависимость задержки воспламенения топлива τ_i в ЛО от коэффициента избытка воздуха $\alpha_{ЛО}$ при энергии активации смеси $E = 38000$ Дж/моль, $s = 1,5$ и $k = 7,67 \cdot 10^9$ моль $^{-0,5}$ м 1,5 с $^{-1}$. Константа скорости получена для экспериментальной точки (рисунок 2, черная точка) при условии $\alpha_{ЛО} = 1,0$. Видно наличие двух минимумов (рисунок 2, треугольнички), один в богатой смеси $\alpha_{ЛО} = 0,45$ и другой, менее глубокий, в бедной области $\alpha_{ЛО} = 1,5$. При этом максимум начальной скорости химической реакции в ЛО (рисунок 2, квадрат) лежит также в богатой области. Таким образом, с учетом рисунка 1, возможно воспламенение смеси в ЛО при $\alpha_{ЛО} = 0,55$, что удовлетворительно согласуется с результатами Дека

Причем максимум начальной скорости химической реакции находится как раз между минимумами (рисунок 3, светлый квадрат) в районе концентрации $\alpha_{\text{ЛО}} = 1$.

Из рисунка 4 видно наличие только одного минимума задержки воспламенения топлива в бедной области $\alpha_{\text{ЛО}} = 1,60$ (рисунок 4, треугольник). Причем максимум начальной скорости химической реакции находится как раз при $\alpha_{\text{ЛО}} = 1,60$ (рисунок 4, светлый квадрат). Таким образом, с учетом рисунка 1, возможно воспламенение смеси в ЛО при $\alpha_{\text{ЛО}} = 1,25$, что не согласуется с результатами Дека (Dec J.E., 1997) [9], но не противоречит работам [6, 7].

Обобщая полученные результаты, а также данные работ [6, 7], можно сделать следующие выводы:

- режимы воспламенения топлива в дизеле в области весьма богатой смеси $\alpha_{\text{ЛО}} = 0,5$ (но не ниже) могут реализоваться на тяжелых топливах при низкой энергии активации E порядка 40 кДж/моль, тогда как для теории горения характерными являются энергии активации E от 85 до 170 кДж/моль;

- привлеченные экспериментальные данные, приведенные в работе [6], по задержкам воспламенения углеводородных топлив при впрыске в нагретую бомбу для дизельного топлива дают величину E порядка 90 кДж/моль при температуре 670-730 К, и только при более высокой температуре и смене кинетического механизма реакции (после накопления, а затем распада H_2O_2) энергия активации E может понизиться до 40 кДж/моль и даже ниже;
- на основе собственной и привлеченной информации можно утверждать, что в дизеле самовоспламенение топлива происходит в околостехиометрической смеси, со сдвигом в бедную область (при $\alpha_{\text{ЛО}}$ от 1,05 до 1,25) с энергией активации суммарной реакции E порядка 90 кДж/моль;

- особенностью самовоспламенения углеводородов является двухстадийность процесса со сменой кинетического механизма при температуре порядка 700 К, поэтому для моделирования задержки воспламенения топлива в дизеле можно предложить переменную энергию активации, например, аппроксимирующую формулу

$$E = E_0 \exp(-b\theta),$$

где

$$E_0 = 251000 \text{ Дж/моль}; \quad b = 0,00147 \text{ 1/К};$$

- вывод зарубежных авторов о том, что самовоспламенение в дизеле происходит в условиях богатой смеси, надо полагать, не является окончательным - проблема требует дальнейших экспериментальных и теоретических исследований с использованием детальной кинетики химических реакций.

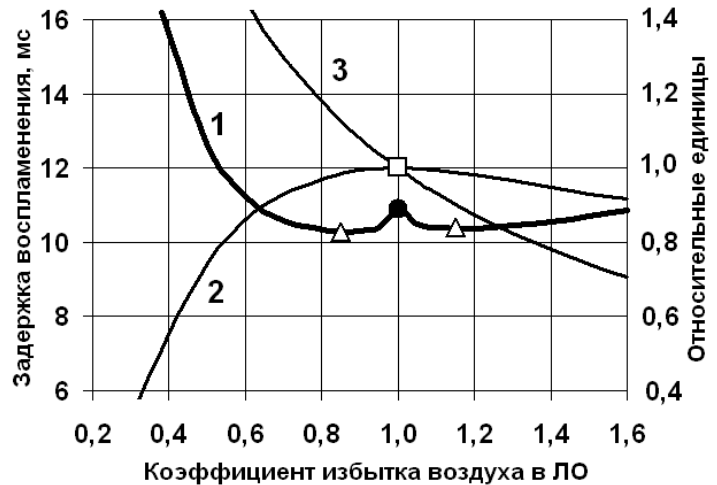


Рисунок 3 – Зависимость задержки воспламенения топлива в дизеле τ_i от коэффициента избытка воздуха в ЛО ($E = 76670 \text{ Дж/моль}$, $s = 1,5$ и $k = 5,37 \cdot 10^9 \text{ моль}^{-0,5} \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$): 1-задержка воспламенения; 2-начальная скорость химической реакции; 3-произведение концентраций топлива и окислителя

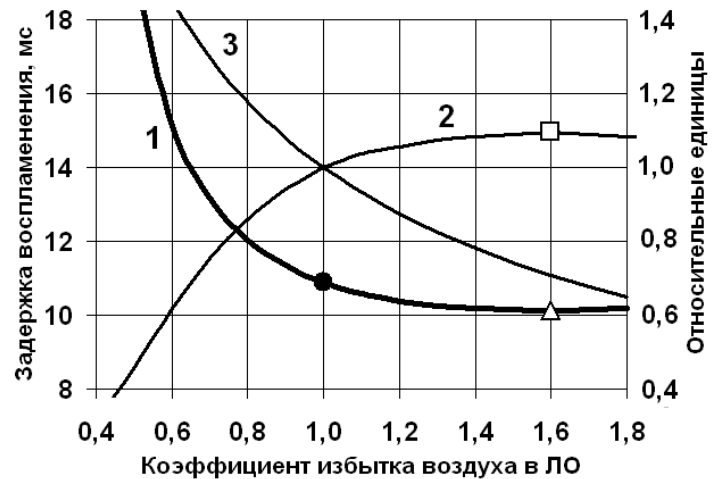


Рисунок 4 – Зависимость задержки воспламенения топлива в дизеле τ_i от коэффициента избытка воздуха в ЛО ($E = 120000 \text{ Дж/моль}$, $s = 1,5$ и $k = 2,81 \cdot 10^9 \text{ моль}^{-0,5} \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$): 1-задержка воспламенения; 2-начальная скорость химической реакции; 3-произведение концентраций топлива и окислителя

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сеначин, П.К. Анализ воспламенения в дизеле / П.К. Сеначин, Р.Х. Абдуллин, В.С. Бабкин // Физика горения и методы ее исследования: межвуз. сб. -Чебоксары, 1983. -С. 50-53.
- 2 Матиевский, Д.Д. Задержка воспламенения топлива в дизеле как период индукции динамического теплового взрыва / Д.Д. Матиевский, П.К. Сеначин // Изв. высш. учеб. заведений. Машиностроение. -1995. -№4/6. -С. 27-32.
- 3 Сеначин, П.К. Задержка воспламенения двухкомпонентного топлива в газодизеле и в дизеле, работающем на спиртах / П.К. Сеначин, А.Е. Свистула, Д.Д. Матиевский // Двигатель-97: материалы Междунар. науч.-техн. конф. /МГТУ им. Н.Э. Баумана. -М., 1997. -С. 116-118.
- 4 Сеначин, П.К. Некоторые вопросы моделирования процессов самовоспламенения и горения в ограниченных объемах и двигателях внутреннего сгорания / П.К. Сеначин // Вестн. АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -2000. -№ 2. -С. 52-60.
- 5 Сеначин, П.К. Моделирование задержки воспламенения топлива в дизеле / П.К. Сеначин, Д.Д. Матиевский, А.П. Сеначин // Вестн. АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -2001. -№3. -С. 64-68.
- 6 Сеначин, А.П. Определение глобальной кинетики дизельного топлива численным решением обратной задачи динамики самовоспламенения в дизеле /А.П. Сеначин, А.А. Коржавин, П.К. Сеначин // Ползунов. вестн. -2009. -№4. -С. 155-165.
- 7 Сеначин, А.П. Задержка воспламенения топлива в дизеле с системой топливоподачи повышенного давления / А.П. Сеначин, П.К. Сеначин // Изв. Самар. науч. центра РАН. -2011. -Т.13, №1(2). -С. 479-486.
- 8 Westbrook, Charles K. Chemical kinetics of hydrocarbon ignition in practical combustion systems / Charles K. Westbrook // Proceedings of the Combustion Institute. -2000. -Vol.28. -P. 1563-1577.
- 9 Dec, J.E. A conceptual model of DI diesel combustion based on laser- sheet imaging / J.E. Dec // SAE paper. -1997. -P. 97-0873.
- 10 Diesel Combustion: An Integrated View Combining Laser Diagnostics, Chemical Kinetics, and Empirical Validation / P.F. Flynn, R.P. Durrett, G.L. Hunter, A.O. zur Loye, O.C. Akinyemi, J.E. Dec and C.K. Westbrook // SAE paper. -1999. -P. 99-01-0509.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергия активации, глобальная химическая кинетика, численное моделирование, самовоспламенение, топливо, дизель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Сеначин Андрей Павлович, инженер ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
Синицын Владимир Александрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОГО ФАКЕЛА ДИЗЕЛЯ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАПЕЛЬ ТОПЛИВА ПО РАЗМЕРАМ

**ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет»
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»**

В.В. Чертищев, С.А. Ульрих, П.К. Сеначин

OPTICAL DIAGNOSTICS OF THE FUEL-AIR TORCH OF THE DIESEL ENGINE. DISTRIBUTION OF DROPS OF FUEL IN THE SIZES

«Altai state university»
«Altai state technical university named I.I. Polzunova»
V.V. Chertishchev, S.A. Ulrih, P.K. Senachin

The technique of optical diagnostics of a fuel-air torch of a diesel engine developed by authors on which basis it is possible to receive parameters of distribution of drops of fuel in the sizes is resulted.

Keywords: optical diagnostics, a diesel engine, a fuel-air torch, a fuel drop, a method of small corners, a spectrum of the sizes, statistics of distribution

Приводится разработанная авторами методика оптической диагностики топливно-воздушного факела дизеля, на основе которой можно получить параметры распределения капель топлива по размерам.

Кинетика испарения капель дизельного топлива, распыленного форсункой, динамика их воспламенения и сгорания в большой степени зависят от их размеров. Диапазон диаметров капель заключен, в основном, в интервале от 6 до 100 мкм. Для исследования спектра размеров капель в этом случае применим метод малых углов [1]. Распределение интенсивности рассеянного излучения как функции угла рассеяния (в небольшом диапазоне углов вблизи направления исходного светового пучка) позволяет восстановить спектр размеров капель. Регистрируется излучение вперед в диапазоне углов рассеяния, попадающих в конус с малым углом раствора, при этом составляющей излучения, соответствующей геометрической оптике и зависящей от природы частицы, можно пренебречь.

В классическом варианте этого метода малых углов принимается, что все капли имеют шарообразную форму [1]. Однократное рассеяние первоначально плоской световой волны происходит на частицах, имеющих форму шара, и каждый шар вблизи себя имеет круглую тень, диаметр которой равен диаметру шара δ , то есть вырезает из плоской световой волны круглую тень, так что шар дает такую же картину светорассеяния, что и диск того же

диаметра δ , перпендикулярный световому пучку. Интенсивность излучения с длиной волны λ , рассеянного одним диском под углом θ к первоначальному направлению света, дается формулой [2]

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{\pi \delta^2}{4\lambda r} \right)^2 \left[\frac{2J_1 \left(\frac{\pi \delta}{\lambda} \sin \theta \right)}{\frac{\pi \delta}{\lambda} \sin \theta} \right], \quad (1)$$

где r – расстояние от центра шара до точки, в которой измеряется интенсивность;
 $J_1(z)$ – функция Бесселя первого рода первого порядка.

При рассеянии когерентного света на многих каплях и регистрации дифракционной картины в фокальной плоскости приемного объектива, имеющего фокусное расстояние f , суммируются световые поля, рассеянные индивидуальными каплями. Распределение интенсивности света, регистрируемое светочувствительной матрицей, дается формулой [3]

$$\begin{aligned} \frac{I(r_f)}{I_0} = & \left(\frac{\pi}{4\lambda f} \right)^2 \sum_j \delta_j^4 \left[\frac{2J_1(\kappa \delta_j)}{\kappa \delta_j} \right]^2 + \\ & + \sum_{m \neq j} \sum_j \frac{\delta_j \delta_m}{4r_f^2} J_1(\kappa \delta_j) J_1(\kappa \delta_m) \cos \left[2\kappa \left(x_f \frac{x_j - x_m}{r_f} + y_f \frac{y_j - y_m}{r_f} + r_f \frac{z_j - z_m}{2f} \right) \right]; \\ & \kappa = \frac{\pi r_f}{\lambda f}, \end{aligned}$$

где $I(r_f)$ – освещенность точки, удаленной от фокуса на расстояние r_f ;
 δ_j – диаметр j -й капли;

Поскольку κ -большая величина, второе слагаемое быстро осциллирует с изменением x_f и y_f , оно ответственно за зернистую структуру картины когерентного светорассеяния, и при усреднении по площади малой части изображения (например, по площади, имеющей форму узкого кольца с центром в фокусе объектива) дает лишь небольшие случайные флуктуации. Закономерный ход распределения интенсивности дает первое слагаемое

$$\frac{I(r_f)}{I_0} = \left(\frac{\pi}{4\lambda f} \right)^2 \sum_j \delta_j^4 \left[\frac{2J_1(\kappa \delta_j)}{\kappa \delta_j} \right]^2. \quad (2)$$

В случае большого числа капель суммирование в предыдущей формуле заменяется интегрированием

$$\frac{I(r_f)}{I_0} = \left(\frac{\pi}{4\lambda f} \right)^2 N \int_0^\infty \delta^4 \left[\frac{2J_1(\kappa \delta)}{\kappa \delta} \right]^2 n(\delta) d\delta, \quad (3)$$

где $n(\delta)$ – нормированная функция распределения капель по размерам;

N – общее число капель, встретившихся на пути световой волны.

Для решения задачи восстановления распределения капель по размерам в принципе можно поступить любым из двух способов. В первом способе формула (3) может рассматриваться как интегральное уравнение относительно неизвестной функции. Во втором способе предполагается, что распределения капель по размерам подчиняется одному из известных законов, описываемых аналитической формулой, и задача сводится к нахождению параметров этого распределения.

В большинстве практически важных случаев можно считать, что зависимость числа капель топлива от размера описывается логарифмически нормальным законом распределения

$$\frac{N(\delta)}{N_0} = \int_0^\delta n(x) dx = \frac{1}{\ln \sigma_g \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x=\delta} \exp \left[- \left(\frac{\ln x - \ln \delta_g}{\sqrt{2} \ln \sigma_g} \right)^2 \right] d \ln x, \quad (4)$$

где $\ln \sigma_g > 0$ ($\sigma_g > 1$) – определяет ширину распределения;

δ_g – медианный диаметр (50% капель имеют диаметр, меньший медианного).

Среднеобъемный диаметр капель δ_{30} связан с медианным, средним и среднеквадратичным следующими соотношениями

$$\delta_{30} = \sqrt[3]{\langle \delta^3 \rangle} = \sqrt[3]{\int_0^{\infty} x^3 f(x) dx} = \frac{\delta_{10}^3}{\delta_g^2} = \frac{\delta_{20}^2}{\delta_{10}}. \quad (5)$$

Объединение формул (3) и (4) дает

$$\frac{I(r_f)}{I_0} = \left(\frac{\pi}{4\lambda f}\right)^2 N \int_0^{\infty} \delta^4 \left[\frac{2J_1(\kappa\delta)}{\kappa\delta}\right]^2 \frac{1}{\ln\sigma_g \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\left(\frac{\ln\delta - \ln\delta_g}{\sqrt{2\ln\sigma_g}}\right)^2\right] \frac{d\delta}{\delta},$$

или, если ввести переменную $t = \ln(\delta/\delta_g) / (\sqrt{2\ln\sigma_g})$,

$$\frac{I(r_f)}{I_0} = \frac{N}{\sqrt{\pi} (2\kappa r_f)^2} \int_{-\infty}^{\infty} z^2(t) \{J_1[z(t)]\}^2 \exp(-t^2) dt, \quad (6)$$

где

$$z(t) = \kappa\delta = \kappa\delta_g \exp(t\sqrt{2\ln\sigma_g}). \quad (7)$$

Учитывая, что при $t \gg 1$ пренебрежимо мало, для численного счета считаем, что распределение каплей по размерам описывается логарифмически нормальным усеченным распределением

$$\frac{I(r_f)}{I_0} = \frac{N}{\sqrt{\pi} (2\kappa r_f)^2} \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} z^2(t) \{J_1[z(t)]\}^2 \exp(-t^2) dt, \quad (8)$$

пределы интегрирования

$$t_{\min} = \frac{1}{\sqrt{2\ln\sigma_g}} \ln \frac{\delta_{\min}}{\delta_g}; \quad t_{\max} = \frac{1}{\sqrt{2\ln\sigma_g}} \ln \frac{\delta_{\max}}{\delta_g}. \quad (9)$$

Оценка параметров распределения каплей распыленного топлива по размерам осуществляется с помощью разработанной для этой цели программы ScatteringAnalyze. Параметры δ_m и $\ln\sigma_g$ оцениваются при сравнении зарегистрированной картины светорассеяния с расчетной путем подбора этих параметров для расчетной кривой.

Оптическая схема исследования малоуглового светорассеяния на каплях топливного факела представлена на рисунке 1.

Исходя из диапазона размеров каплей топлива 6-100 мкм, ограничимся регистрацией рассеянного света в диапазоне углов от 5' до 3,2°. Угол расхождения светового пучка вследствие конечности его поперечного сечения пропорционален диаметру пучка и при диаметре 10 мм равен 0,12'.

Для устранения прямого излучения в фокальной плоскости приемного объектива с фокусным расстоянием f' помещается фильтр низких пространственных частот, представляющий собой отражающую проволочку с диаметром d_ϕ , препятствующую прохождению излучения под углами к оптической оси, большими чем $\arctg(d_\phi/2f')$.

Если d -диаметр просвечивающего пучка, L -максимальное расстояние от факела до передней фокальной плоскости приемного объектива, θ -максимальный угол дифрагировавших лучей, подлежащих регистрации, тогда эти лучи попадут в объектив на расстояниях

$$r_{01} = \frac{d}{2} - (L + f') \operatorname{tg} \theta; \quad r_{02} = \frac{d}{2} + (L + f') \operatorname{tg} \theta,$$

от оптической оси и на расстоянии

$$r' = f \operatorname{tg} \theta,$$

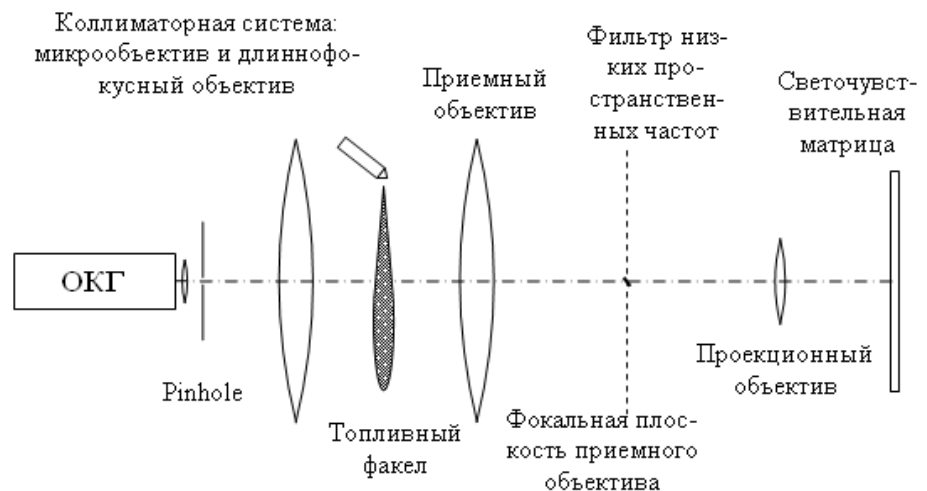


Рисунок 1 - Оптическая схема исследования малоуглового светорассеяния на каплях топливно-воздушного факела

от оптической оси в задней фокальной плоскости приемного объектива.

На основе известных соотношений для идеальной оптической системы подобраны определяющие параметры оптических компонентов: фокусное расстояние приемного объектива 175 мм; диаметр проволочки-фильтра 0,5 мм; расстояние от задней фокальной плоскости приемного объектива до передней главной плоскости проекционного объектива не менее 53 мм; фокусное расстояние проекционного объектива 58,6 мм. Таким фокусным расстоянием обладает фотографический объектив Гелиос-44М-4 со знаменателем относительного отверстия 2,0, передним вершинным фокусным расстоянием 34,25 мм и углом поля зрения $40^{\circ}28'$. Выдвижение проекционного объектива относительно фокусировки на бесконечность 37,5 мм (обеспечивается стандартными удлинительными кольцами и механизмом фокусировки объектива); расстояние от фронтальной линзы проекционного объектива до задней фокальной плоскости приемного объектива 71,8 мм. Требуемый для проекционного объектива угол поля зрения 12° заведомо обеспечивается выбранным фотографическим объективом, при этом геометрическое виньетирование объектива несущественно. Расстояние от передней фокальной плоскости приемного объектива до факела не более 200 мм, от передней главной плоскости не более 375 мм, что вполне достаточно для размещения форсунки в модельной камере сгорания.

Картина малоуглового светорассеяния при указанных выше параметрах заключена в основном в круге диаметром 20 мм. Эта картина отображается с уменьшением в масштабе 1:1,6 и полностью попадает на светочувствительную матрицу размером $15,3 \times 12,3$ мм.

Из зарегистрированных видеофильмов с рассеянием на каплях и без капель (фоновое светорассеяние) вырезаются одиночные файлы. Затем с помощью графического редактора, позволяющего работать со слоями изображения, создается изображение с двумя слоями – один со светорассеянием на каплях, другой – с фоном, и небольшим перемещением одного слоя относительно другого достигается полное совмещение изображения нити на обоих слоях. Затем из полученного изображения вырезается центральная часть, за пределами которой остается темный фон, и слои сохраняются как два отдельных файла.

Полученные файлы изображений считываются разработанной программой ScatteringAnalyze. Сначала открывается файл с фоновой картиной светорассеяния (на которой видна и нить – фильтр низких пространственных частот). На открытом изображении фона помечаются границы нити, за пределами которых находится картина светорассеяния. Для наглядности эти точки программно соединяются отрезком желтого цвета. Расстояние между ними определяет масштаб с учетом толщины нити. После указания граничных точек открывается файл с картиной светорассеяния на каплях, а программа выбирает точки вдоль направления, задаваемого граничными точками, и создает сглаживающие кубические сплайны по этим точкам. Затем выполняется расчет для заданных значений среднеобъемного радиуса капель δ_m и параметра $\ln \sigma_g$. Подбором этих двух величин добиваются наилучшего совпадения кривых (рисунки 2).

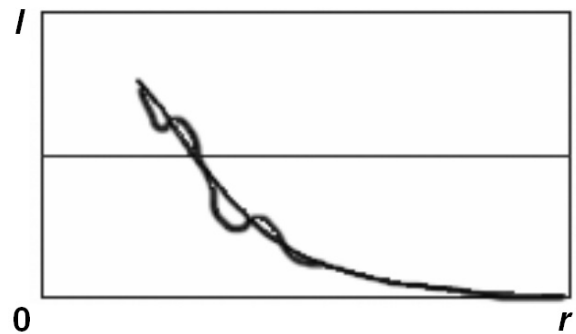


Рисунок 2 - Экспериментальная (с флуктуациями) и теоретическая (монотонная) кривые светорассеяния на каплях дизельного топлива

В результате получаются численные значения среднеобъемного радиуса капель δ_m и параметра $\ln \sigma_g$, которые принимаются за действительные параметры логарифмически нормального усеченного распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шифрин, К.С. Изучение свойств вещества по однократному рассеянию / К.С. Шифрин // Теоретические и прикладные проблемы рассеяния света. -Минск, 1971. -С. 228-244.
 2 Ван де Хюлст. Г. Рассеяние света малыми частицами: пер. с англ. / Г. Ван де Хюлст. -М.: Иностран. лит., 1961. -537 с.
 3 Гудмен, Дж. Введение в фурье-оптику: пер. с англ. / Дж. Гудмен. -М.: Мир, 1970. -364 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оптическая диагностика, дизель, топливно-воздушный факел, капля топлива, метод малых углов, спектр размеров, статистика распределения
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Чертищев Василий Владимирович, канд. физ. -мат. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АлтГУ»

*Ульрих Сергей Александрович, ст. преподаватель ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
Сеначин Павел Кондратьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
656049, г. Барнаул, пр. Ленина, 61, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ»
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

ИЗМЕНЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ПРИ ВВЕДЕНИИ ПРОТИВОДЫМНЫХ ПРИСАДОК К ТОПЛИВУ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Пушнин

ALTERATIONS THE DIESEL ENGINE SOOT UNDER ANTI-SMOKE FUEL ADDITIVES INTRODUCE
«Novosibirsk state academy of water transport»
V.P. Pushnin

The decrease strong of structures of diesel engine soot under anti-smoke fuel additives introduce had been mounting. This with the forming of combinations of vanadium with more high temperature melting has been bind.

Keywords: diesel engine soot, strong of structures, anti-smoke fuel additives

Установлено уменьшение прочности структуры дизельной сажи при введении противодымных присадок к топливу. Это связывается с образованием соединений ванадия с более высокой температурой плавления.

Известна возможность изменения структуры технического углерода, получаемого печным способом введением присадок в сырье [1]. В [2] даны обзорные сведения по вопросу применения противодымных присадок к топливу дизелей, и в частности указывается на их диспергирующее действие на сажу.

В настоящей работе приведены результаты анализа структуры сажи, полученной при сгорании топлива с присадками: бариевой противодымной Парадайн 12, многофункциональной Дислип Ф и малозольной многофункциональной Гамленол. Присадки эти известны давно и согласно [3] при их введении наблюдалось снижение дымности выпускных газов. Кроме того, исследовалась сажа, образовавшаяся с присадкой СП-2. Присадка СП-2 не содержит бария, и получена из сланцев. При анализе использовались методы электропроводности и степени уплотнения. Дополнительно привлекались данные [4] по минеральному составу сажи с рассматриваемыми зарубежными присадками, а также с присадкой СП-2, сведения о которой не вошли в выше указанный источник.

Присадки вводились в моторное топливо ДТ, кинематической вязкостью 4,6 мм²/с при 50 °С. Топливо сжигалось в дизеле 1Ч8,5/11 с измененной конструкцией вставки дополнительной камеры и уменьшенным углом опережения подачи топлива. Это обеспечило высокое сажесодержание выпускных газов в пределах 1,0-1,05 г/м³, которое при введении присадок сохранялось. Отбор проб сажи осуществлялся при помощи мультициклона, улавливалось ее примерно 25% по массе.

Электрическое сопротивление сажи и степень уплотнения при различном давлении определялось в устройстве, рабочая камера которого и методика исследований приведены в [5].

Предварительно, в этом же устройстве измерялось сопротивление сажи при степени уплотнения, равной пяти (таблица 1). В этом случае до установки платформы с грузами сажа сжималась при весьма слабом нажатии непосредственно на подвижный электрод.

Таблица 1 – Удельное электрическое сопротивление сажи, при степени уплотнения равной пяти

Топливо с присадкой	Количество присадки, %	Удельное электрическое сопротивление сажи, Ом·см
Без присадки	0,0	1470
Дислип Ф	1,0	13700
Парадайн 12	1,0	1770
Гамленол	0,2	18000
СП-2	0,5	23200

Значения удельного электрического сопротивления исследуемой сажи при давлении,

начиная с 5 МПа, представлены на рисунке 1.

До давления 5 МПа уже произошло уменьшение воздушных зазоров между агломератами при некоторой деформации их структуры и, соответственно, появление дополнительных точек контакта. Также началось разрушение наименее прочных агломератов высокого порядка, в частности образованных перед мультициклоном и внутри его. Кроме разрушения агломератов при сжатии происходило и объединение в новые агломераты.

Высокие значения удельного сопротивления сажи топлива с присадками Дислип Ф, Гамленол, СП-2 (таблица 1) при степени уплотнения, равной пяти показывает, что уже при весьма слабом нажатии агломераты сажи разрушились на более мелкие агломераты. В результате дробления, и при отсутствии при рассматриваемой степени уплотнения объединения в новые агломераты количество электропроводных мостиков уменьшилось.

Удельное сопротивление сажи топлива с присадкой Парадайн 12 при степени уплотнения, равной пяти оказалось на порядок ниже, чем с выше указанными присадками. Поэтому, если разрушение агломератов и было (а не только деформация структуры), то оно сопровождалось и объединением в новые агломераты.

Значения удельного электрического сопротивление сажи моторного топлива ДТ без присадки и с присадками Дислип Ф, Парадайн 12, Гамленол при одинаковом давлении отличаются не очень значительно (рисунок 1). Значит, в этой области давлений величина удельного электрического сопротивление сажи больше обусловлена общей зольностью сажи, которая согласно [4] у них мало отличается. Более высокие значения удельного электрического сопротивления во всем диапазоне давлений у сажи топлива с присадкой СП-2 еще требует объяснения. Возможно, это как-то связано с нахождением у этой сажи кальция не в виде оксида кальция СаО, отсутствие которого показал спектральный анализ. В саже топлива с другими присадками оксид кальция был обнаружен, причем в количестве примерно, как и в саже базового топлива без присадки [4]. При этом соединение СаО одно из наиболее представленных в общей массе минеральных составляющих сажи.

Дальнейшие выводы можно сделать на основании данных, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Плотность сажи, кг/м³

Вид топлива	Насыпная плотность	Степень уплотнения*	Плотность*
Моторное ДТ (базовое)	66	7,14	471
Базовое + 1% Дислип Ф	74	14,29	1057
Базовое + 1% Парадайн 12	73	21,43	1564
Базовое + 0,2% Гамленол	69	13,04	900
Базовое + СП-2	68	14,29	972

*-при 18 МПа

Плотность при 18 МПа у сажи топлива с присадкой Парадайн 12 составила 75,2% от

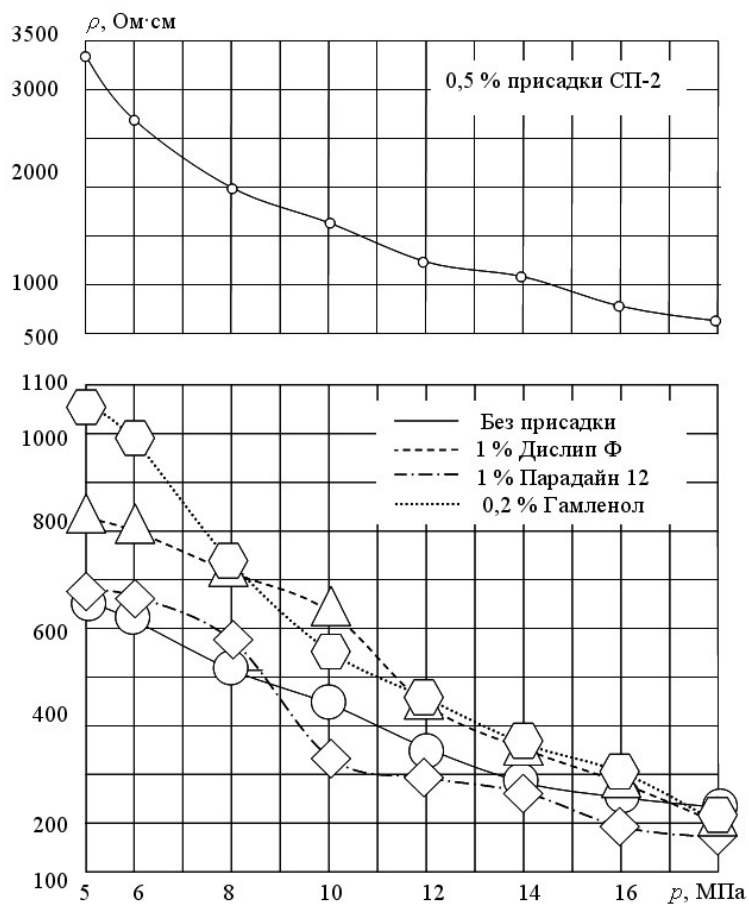


Рисунок 1 – Зависимость удельного электрического сопротивления сажи моторного топлива ДТ без присадки и с присадками от давления

рентгеновской плотности, что позволяет предположить у этой сажи разрушение значительной части агломератов первого порядка. Пре этом рентгеновская плотность (истинная плотность материала, из которого построена сажа) была принята равной 2080 кг/м^3 . Такая рентгеновская плотность согласно [6] у промышленной сажи ТМ-70, имеющей насыпную плотность 61 кг/м^3 .

Следовательно, при введении присадки Парадайн 12 вместо «сварки» агрегатов сажи в месте контакта, которая имела место при работе на базовом топливе без присадки, стало менее прочное соединение, обусловленное физическими силами. Подробнее гипотеза «сварки» агрегатов сажи в месте контакта, связанная с соединениями ванадия, имеющими низкую температуру плавления, изложена в [5].

С другими рассматриваемыми присадками можно предположить «сварку» агрегатов только при образовании агломератов первого порядка. В этом случае должно было образоваться соединение ванадия, имеющее температуру плавления в диапазоне высокотемпературного периода структурных преобразований сажи в дизеле (для данного дизеля $830\text{-}1100 \text{ }^\circ\text{C}$). Согласно [7] такую температуру плавления имеют пированадаты Co , Ni , Ca , ортованадат Co , ванадат железа FeV_2O_4 .

Образование какого-либо соединения ванадия с кальцием можно исключить при всех рассматриваемых присадках, кроме СП-2. Из возможных соединений ванадия с кальцием в саже топлива с присадкой СП-2 можно предположить наличие пированадата кальция $\text{Ca}_2\text{V}_2\text{O}_7$, имеющего температуру плавления $1015 \text{ }^\circ\text{C}$.

Основные выводы:

1 При введении противодымных и многофункциональных присадок в моторное топливо ДТ образовались менее прочные агломераты сажи.

2 Образование менее прочных агломератов сажи можно объяснить переводом низкоплавких соединений ванадия в соединения ванадия с более высокой температурой плавления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гюльмисарян, Т.Г. Сырье для производства углеродных печных саж / Т.Г. Гюльмисарян, Л.П. Гилязетдинов. -М.: Химия, 1975. -160 с.
- 2 Саблина, З.А. Присадки к моторным топливам / З.А. Саблина, А.А. Гуреев. -М.: Химия, 1977. -258 с.
- 3 Интенсификация процесса горения тяжелых топлив в дизелях повышенной быстроходности: отчет о НИР / А.А. Школьный. -№ГР 76014021. -Л., 1978. -145 с.
- 4 Пушнин, В.П. Исследование состава сажи выпускных газов дизелей / В.П. Пушнин, В.Д. Сисин // Энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосибир. ин.-т инженеров вод. трансп. -1991. -С. 34-40.
- 5 Пушнин, В.П. Образование прочной связи между агрегатами дизельной сажи тяжелых топлив / В.П. Пушнин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 141-144.
- 6 Печковская, К.А. Сажа как усилитель каучука / К.А. Печковская. -М.: Химия, 1968. -216 с.
- 7 Топливо для стационарных и судовых газовых турбин / Б.В. Лосиков [и др.]. -М.: Химия, 1970. -310 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизельная сажа, прочность структуры, противодымные присадки к топливу
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Пушнин Валерий Петрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГAVT»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГAVT»

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАВУЧИХ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И КАЗАХСТАНА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Горелов, П.А. Дзуба, М.З. Рамазанов, Т.Ж. Токомбаев, Д.А. Шкитов

PROSPECTS OF APPLICATION OF FLOATING NUCLEAR STATIONS FOR POWER SUPPLY OF COASTAL OIL AND GAS OBJECTS OF RUSSIA AND KAZAKHSTAN

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.P. Gorelov, P.A. Dzuba, M.Z. Ramazanov, T.Zh. Tokombaev, D.A. Shkitov

The analysis of prospects application of nuclear thermal power stations of low power for power supply of the remote oil and gas deposits having closed electric networks from 6 to 35 kV is given.

Keywords: плавучая атомная электростанция, энергоблок, электротеплоснабжение, электромагнитная совместимость

Даётся анализ перспектив применения атомных теплоэлектростанций малой мощности для энергоснабжения отдалённых нефтегазовых месторождений, имеющих замкнутые электрические сети от 6 до 35 кВ.

Расширение добычи на нефтегазовых месторождениях в Северных регионах Европейской и Азиатской частей России, увеличение разведанных месторождений на шельфе Каспийского моря как в Российской Федерации, так и в Республике Казахстан, вызывают необходимость расширения их энергоснабжения. Замкнутые электрические сети (далее сети) от 6 до 35 кВ этих объектов в наибольшей мере, по сравнению с питающими от удалённых электроэнергетических систем (ЭЭС) сетями 110 кВ и выше, связаны с особенностями технологических процессов и характером воздействия окружающей среды. В этих сетях должны обеспечиваться уровни электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств для кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97. Это необходимо: для обеспечения мероприятий по защите жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного имущества, по охране окружающей среды; для повышения технико-экономических показателей производств и качества выпускаемой ими продукции [1].

Конструктивным научным направлением решения проблем ЭМС технических средств в региональных ЭЭС является подавление кондуктивных ЭМП, распространяющихся по сетям. Однако, проблема ЭМС, обусловленная взаимодействием электромагнитных процессов производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии различными приёмниками, достаточно многогранна и постоянно развивается, поэтому решены не все научные задачи, связанные с особенностями электрических сетей и режимами работы искажающих нагрузок. В частности, нет рекомендаций по определению рациональных мест размыкания замкнутых сетей от 6 до 35 кВ при кондуктивных ЭМП и подавлению помех. Решение подобных задач обеспечивает получение новых знаний в области ЭМС технических средств и повышение эффективности электроснабжения удалённых от региональных ЭЭС объектов [1, 2].

Вышеуказанное позволяет учесть особенности электротеплоснабжения промышленности, бытовых потребностей населения Сибири, Дальнего Востока и других отдалённых районов, включающие:

- высокие требования к бесперебойности электротеплоснабжения потребителей из-за суровых климатических условий и значительной протяжённости линий электропередачи;
- большие затраты на содержание производственной и социальной инфраструктуры.

Энергообеспечение отдалённых районов является примером того, что для повышения его качества целесообразно использовать нетрадиционные источники энергии. Однако, бесперебойное энергоснабжение предприятий и сельского населения только от некоторых возобновляемых источников затруднительно из-за непостоянства потоков энергии. Следует отметить при этом эффективность использования аккумуляторов энергии. Например, из накопителей энергии широко распространены электромеханические, молекулярные, индуктивные и электрохимические. В связи с недостатками аккумуляторных батарей, связанными с

малыми энергетическими параметрами, расширяется разработка и использование близкого по параметрам класса приборов – двухслойных конденсаторов, ультраконденсаторов, известных по названию как ионисторы. Перспективным является применение нанопористого углерода (графена) в подобных конденсаторах и для изготовления композиционных резисторов [3]. Ёмкость таких конденсаторов в несколько сот раз больше ёмкости распространённых конденсаторов (танталовых, плёночных, керамических, электролитических). Используют сборки суперконденсаторных модулей как основного источника энергии мобильных и стационарных объектов. Поэтому более эффективно использовать комбинированные схемы электротеплоснабжения, одна из которых изображена на рисунке 1 [2, 3].

Подчеркнём, что в большинстве вышеприведённых энергетических устройств в качестве активной нагрузки применяются различного типа резисторы, например, металлические и резисторы из композиционных материалов на основе силикатных, полимерных или фосфатных связей [2].

Эксплуатация электроэнергетических систем, в том числе с использованием ВНИЭ, должна также учитывать электромагнитную совместимость технических средств, подверженных действию электромагнитных помех. При работе местных электрических сетей напряжением от 0,4 до 35 кВ на линейную изоляцию линий электропередачи (ЛЭП), электрооборудование электрических станций и подстанций, электрическую изоляцию силовой и бытовой аппаратуры воздействуют различного рода электрические перенапряжения.

В последние десятилетия происходит непрерывное

интенсивное старение эксплуатируемого энергооборудования. Поэтому возрастает актуальность изучения электромагнитной обстановки (ЭМО), определения различного вида электромагнитных помех, обеспечения электромагнитной совместимости технических средств в действующих электрических сетях.

Начало XXI века ознаменовалось появлением первых признаков энергетического кризиса, связанного с неуклонно приближающимся моментом исчезновения запасов основных энергоносителей. Это, например, проявляется в безудержном росте цен на сырую нефть, наблюдающимся в 2003-2005 гг. и в 2010-2011 гг. Поэтому энергетики мира обратились вновь к ядерной энергии. Например, Президент Российского научного центра «Курчатовский институт», академик Е. Велихов утверждает: «Рост мирового спроса (на электроэнергию) в сочетании с непрерывно ужесточающимися экологическими ограничениями требует сделать упор на расширенное использование в XXI веке именно ядерной энергии. Для этого ядерная энергетика должна стать более безопасной, устойчивой к распространению, экономичной, чистой и надёжной». Это высказывание, по сути, формулировка задачи создания энергетического оборудования АЭС нового поколения, и в первую очередь, это касается ядерных реакторов [4].



Рисунок 1 – Блок-схема комбинированного электротеплоснабжения потребителей

Изменение соотношения стоимости углеводородного сырья и ядерного топлива при сравнении технико-экономических показателей позволяют ориентироваться на применение плавучих атомных электростанций (ПАЭС) мощностью от 50 до 100 МВт, что наиболее актуально для энергообеспечения нефтегазодобывающих и перерабатывающих комплексов [5, 6].

Идея использования плавучих атомных реакторов для гражданского населения возникла в США при обеспечении энергией Панамского канала 1966-1976 гг. и американской исследовательской базы в Антарктике 1962-1972 гг.

Согласно Российскому проекту, плавучая атомная станция малой мощности (АТЭС ММ) состоит из гладкопалубного несамоходного судна с двумя реакторными установками КЛТ-40С ледокольного типа, разработанными ОАО «ОКБМ им. Африкантова». Длина судна – 144 м, ширина – 30 м и водоизмещение – 21,5 тыс. т.

Плавучая станция может использоваться для получения электрической и тепловой энергии, а также для опреснения морской воды. В сутки она может выдать от 40 до 240 тыс. т пресной воды. Установленная электрическая мощность каждого реактора – 35 МВт, тепловая мощность – 140 Гкал/ч. Срок эксплуатации станции составит минимум 36 лет: три цикла по 12 лет, между которыми необходимо осуществлять перегрузку активных зон реакторных установок. На рисунке 2 представлена фотография ПАЭС, стоящая на якоре у ОАО ПО «Севмаш» [7].



Рисунок 2 – Головной образец плавучей атомной станции, стоящей на якоре в ОАО ПО «Севмаш» (г. Северодвинск)

По выполненным проектным работам, проведённым ФГУП Концерн «Росэнергоатом», в состав комплекса атомной теплоэлектростанции малой мощности (АТЭС ММ) входят: плавучий энергоблок (ПЭБ) с двумя реакторными установками КЛТ-40С, гидротехнические сооружения, береговая площадка, на которой располагаются вспомогательные здания и сооружения станции (таблица) [5, 6, 8].

Таблица – Основные характеристики атомной теплоэлектростанции малой мощности

Наименование	Параметры
Максимальная электрическая мощность в конденсационном режиме, МВт	2×38,5
Номинальный теплофикационный режим:	
электрическая мощность, МВт	2×35
тепловая мощность, Гкал/ч	2×25
Максимальная мощность для теплофикации, Гкал/ч	2×73
Собственное электропотребление, МВт	4-6
Собственное теплотребление, МВт	3,2
Площадь береговой территории, га	0,8-1,5
Площадь акватории, га	3-6

Мы разделяем точку зрения сотрудника обнинского Физико-энергетического института имени А.И. Лейпунского Владимира Поплавского, об опасности, которую представляют плавучие АЭС: «Понятно, что плавучая АЭС должна отвечать всем требованиям безопасности. Поэтому при проектировании ПАЭС учитывались сейсмические условия регионов, где такие станции предполагается использовать», – подчеркнул он в беседе с RBC daily. По мнению физика-ядерщика, «большой плюс плавучей АЭС состоит в том, что её можно заря-

дить топливом на заводе и отбуксировать к месту эксплуатации, оставив на несколько лет. Когда топливо будет полностью отработано, станцию просто буксируют обратно на завод для перезарядки, а на её место ставят другую. Это один из вариантов применения данной технологии. Он намного безопаснее для экологии, чем сжигание угля, мазута, нефти или газа» [7].

Интерес к плавучим АЭС высказывают многие страны. Их, после того как пилотная станция пройдет проверку на прочность, готовы купить Китай, Япония, Индонезия и т.д. Однако Россия, как пояснил один из проектировщиков, не собирается их продавать. «Мы будем поставлять такие станции в другие страны только при условии, что эксплуатацией и перезарядкой отработанного топлива будет заниматься наша страна. Продавать ядерные технологии мы не намерены. ПАЭС будут востребованы на Чукотке, Камчатке и Сахалине, а также в

других регионах Крайнего Севера и Дальнего Востока» [5, 7, 8].

Таким образом, на стыке отраслей судостроения и стационарной атомной энергетики существует новое направление в развитии атомной энергетики РФ, заключающееся в строительстве атомных электростанций малой мощности на базе плавучих энергоблоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Эффективность подавления кондуктивных электромагнитных помех по току замыкания на землю в сетях от 6 до 35 кВ / В.В. Горелов [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 261-264.
- 2 Применение резисторов в схемах электротеплоснабжения объектов производственного и бытового назначения / В.П. Горелов [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1, спецвып. -С. 127-131.
- 3 Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / В.П. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2010. -361 с.
- 4 Энергоснабжение стационарных и мобильных объектов. В 3 ч. Ч.3 / С.В. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, Н.В. Цугленка. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. -243 с.
- 5 Пат. 2188466 Российская Федерация, МПК 7 G21 С 1/00, G21 С9/00, В63В35/44. Плавучая атомная электростанция / Пялов В.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель Федер. гос. унитар. предприятие «С.-петерб. мор. бюро машиностроения «Малахит». – №2000101159/06; заявл. 11.01.00; опубл. 27.08.02. -11 с.
- 6 Автономные источники и преобразователи электрической энергии для потребителей северных регионов / С.В. Горелов [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1. -С. 239-243.
- 7 Режим доступа: [www. Egrussia.ru / pressa / articles / 1161 htm.](http://www.Egrussia.ru/pressa/articles/1161.htm) <01.08.20011>
- 8 Атомные теплоэлектростанции малой мощности на базе плавучего энергоблока с реакторными установками КЛТ– 40С / ФГУП Концерн «Росэнергоатом» // Судостроение. -2007. -№3. -С. 23-25.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *плавучая атомная электростанция, энергоблок, электромагнитная совместимость*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
Дзюба Павел Анатольевич, соискатель ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Рамазанов Мурат Зикенович, канд. техн. наук, соискатель ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Токомбаев Тулеген Жумабекович, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Шкитов Денис Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И СВЯЗИ С УЧЕТОМ ОШИБОК ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПЕРВОГО И ВТОРОГО РОДА

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

А.А. Любченко, Е.Ю. Копытов

CONCEPTUAL MODEL OF AUTOMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS OPERATIONAL PROCESS SUBJECT TO A AND B DIAGNOSIS ERRORS

«Omsk state transport university»

A.A. Lyubchenko, E.Yu. Kopytov

In the article a conceptual model of operational and preventive maintenance process of automation and communication systems is considered. The model allows for sudden and gradual failures via α and β diagnosis errors

Keywords: conceptual model, Semi-Markov process, preventive maintenance, diagnosis errors

Рассмотрена концептуальная модель процесса эксплуатации восстанавливаемых систем автоматики и связи, учитывающая скрытые и ложные отказы аппаратуры посредством учета ошибок диагностирования первого и второго рода.

Одним из способов повышения надежности и безопасности функционирования элементов систем автоматики и связи (АИС) является организационные мероприятия по проведению технического обслуживания. Согласно ГОСТ 18322-78 под техническим обслуживанием (ТО) понимается комплекс операций по поддержанию работоспособности и исправности при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании. При этом элементами систем АИС являются блоки и узлы радиоэлектронной аппаратуры, выполняющие заданные функции, и представляющие собой подсистему в составе АИС.

Одним из признаков системы технического обслуживания, как совокупности взаимосвязанных средств и документации по ТО и ремонту, является периодичность ТО (ПТО). Оценка рационального значения ПТО может быть выполнена на основании экспериментальных данных об эксплуатации систем, полученные на основании статистических экспериментов с имитационной моделью, описывающей процесс эксплуатации и ТО систем АИС. Главные достоинства технологии имитационного моделирования это независимость от размерности,

сложности решаемой задачи и возможность анализа поведения стохастических процессов во времени при различных условиях [1].

Имитационная модель в общем случае представляет собой моделирующий алгоритм, реализованный на ЭВМ и позволяющий воспроизводить (имитировать) исследуемый процесс. Основой для построения алгоритма имитации является концептуальная модель, представляющая собой содержательное описание особенностей исследуемого процесса.

Графически концептуальная модель процесса функционирования восстанавливаемых систем АИС может быть представлена в виде графа состояний $S_i, i = \overline{1, n}$ (рисунок) [2].

В процессе эксплуатации и ТО системы АИС могут находиться в следующих состояниях: S1- работоспособное состояние; S2- состояние разрегулировки системы по k -му параметру ($k = \overline{1, L}$); S3- неработоспособное состояние по причине явного отказа; S4- состояние ТО работоспособной системы; S5- состояние ТО разрегулированной системы; S6- состояние скрытого отказа; S7- состояние ТО системы, находящейся в скрытом отказе; S8- состояние ложного отказа.

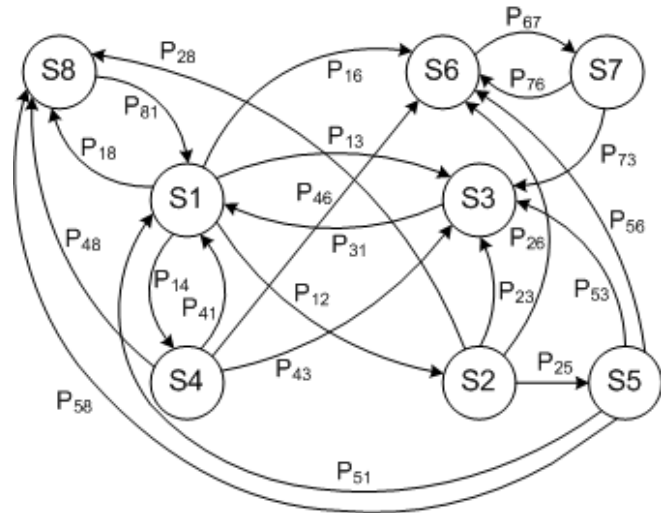


Рисунок – Граф процесса эксплуатации и ТО восстанавливаемых систем автоматики и связи

Согласно ГОСТ 27.002 возможность системы выполнять заданные функции определяется нахождением его в исправном и работоспособном состоянии. С точки зрения выполнения возложенной функции система может быть исправна и работоспособна или неисправна и работоспособна, поэтому эти состояния могут быть объединены в одном работоспособном состоянии S1.

В состояние разрегулировки по k -му параметру S2 система переходит при выходе значения k -го параметра за границы допусковой области. Разрегулировка предшествует возникновению постепенного отказа, возникающего в результате необратимых физико-химических изменений в компонентах (старение).

Неработоспособное состояние S3 характеризует неспособность системы выполнять заданную функцию вследствие очевидного (явного) отказа компонента системы. В данном состоянии система находится в течение времени необходимого для восстановления работоспособного состояния, складывающегося из времени на проверку t_n , поиска неисправности t_n и аварийного ремонта t_A .

В состояние S4, S5 и S7 система переходит в установленные сроки, определяемые инструкциями по проведению ТО, для прохождения проверки и, если необходимо, регулировки эксплуатируемой аппаратуры по каждому k -му параметру. Проведение операций по ТО предотвращает наступление частично внезапных, но, в основном, постепенных износных отказов изделий. При этом проверка есть мероприятие для подтверждения работоспособного состояния системы S4, либо выявления факта разрегулировки S5, либо определения состояния скрытого отказа S7, и характеризуется таким параметром как длительность проверки t_n . Регулировка это комплекс мер по восстановлению нормативного значения k -го параметра элемента, вышедшего за границы допусковой области. К данному комплексу мер относится проведение ремонта по замене компонентов системы, приводящих к разрегулировке, а также настройка параметров объекта в течение времени t_p (регулирующие компоненты, автоматизированные средства настройки и т.д.). Операции по ТО выполняются обслуживающим персоналом, очевидно, что в течение времени ТО (t_p) персоналом может быть допущена ошибка, приводящая к отказу проверяемой аппаратуры и переходом ее в состояние S3. Следовательно, необходимо учитывать данный факт, например, введением функции распределения вероятности ошибки обслуживающего персонала при ТО $F_{TO}(t_n)$.

Контроль состояния блоков системы осуществляется с помощью внешних и встроенных средств технического диагностирования (СТД). При этом встроенные СТД осуществляют периодическую диагностику элементов, фиксируя отказ с выдачей сигналов звуковой, либо световой индикации, а внешние СТД используются на этапах проведения ТО. СТД характеризуются ошибками диагностирования первого и второго рода.

Для исследуемого процесса ошибки диагностирования не равны нулю, следовательно, граф, представленный на рисунке имеет состояния скрытого S6 и ложного отказов S8. Переход в состояние S6 обусловлен ошибочным решением СТД при наличии неисправности (пропуск неисправности), приводящей к отказу системы. В этом состоянии аппаратура находится до момента проведения ТО, во время которого (t_n) выявляется факт наличия неисправности системы. В состоянии S8 система переходит, когда встроенные СТД допускают ошибку, сигнализируя об отказе системы (ложная неисправность). При этом предполагается, что происходит мгновенная проверка системы в течение времени t_n , после чего система переходит в работоспособное состояние S1.

Таким образом, процесс эксплуатации и ТО систем АИС представляет собой последовательность переходов из текущего состояния S_i в последующее S_j . Причем время пребывания в каждом состоянии может быть либо случайной величиной с заданным законом распределения, либо константой. В таком контексте описанный процесс может быть аппроксимирован моделью полумарковского процесса, называемого также в литературе вложенной цепью Маркова (ВЦМ) и задаваемого следующими параметрами [3]:

– вектор начального состояния

$$P_0 = \{P_1^0, P_2^0, P_3^0, P_4^0, P_5^0, P_6^0, P_7^0, P_8^0\}; \quad (1)$$

– квадратная матрица переходных вероятностей

$$P = \begin{pmatrix} 0 & (1-F_{13})F_{12} & (1-\beta_1)F_{13} & (1-\alpha_1) \times \\ & & & \times(1-F_{13}) \times \\ & & & \times(1-F_{12}) \\ 0 & 0 & (1-\beta_1)F_{23} & 0 & (1-\alpha_1) \times \\ & & & & \times(1-F_{23}) \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (1-\alpha_2)(1-F_{to}) & 0 & (1-\beta_2)F_{to} & 0 & 0 & \beta_2 F_{to} & 0 & \alpha_2(1-F_{to}) \\ (1-\alpha_2)(1-F_{to}) & 0 & (1-\beta_2)F_{to} & 0 & 0 & \beta_2 F_{to} & 0 & \alpha_2(1-F_{to}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\beta_2 & 0 & 0 & \beta_2 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где F_{12} – экспоненциальная функция распределения вероятности перехода из работоспособного состояния S1 в состояние разрегулировки S2 с периодичностью ТО равной $T_{о6}$,

$$F_{12} = F_{12}(T_{о6}) = 1 - \exp(-\lambda_{12} T_{о6});$$

F_{13} – экспоненциальная функция распределения вероятности перехода в состояние отказа S3 с периодичностью ТО равной $T_{о6}$

$$F_{13} = F_{13}(T_{о6}) = 1 - \exp(-\lambda_{13} T_{о6});$$

F_{23} – экспоненциальная функция распределения вероятности перехода из состояния разрегулировки S2 в состояние явного отказа S3 с периодичностью ТО равной $T_{о6}$

$$F_{23} = F_{23}(T_{о6}) = 1 - \exp(-\lambda_{23} T_{о6});$$

$F_{TO}(t_n)$ – функция распределения вероятности безотказной работы при ТО.

– матрица-строка плотностей распределения времени пребывания $T_i, i = \overline{1,8}$

$$F = \{(\lambda_{13} + \lambda_{12}) \exp[-(\lambda_{13} + \lambda_{12})T], \lambda_{23} \exp(-\lambda_{23}T_2), T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8\}, \quad (3)$$

где $\lambda_{12}, \lambda_{13}$ – интенсивность разрегулировок и внезапных отказов, соответственно, $ч^{-1}$;

λ_{23} – интенсивность внезапных отказов разрегулированной системы, ч⁻¹;

T_3 – время восстановления после отказа системы,

$$T_3 = t_{\Gamma} + t_H + t_A, \text{ ч};$$

T_4 – время, требуемое для ТО (проверка аппаратуры),

$$T_4 = T_7 = T_8 = t_{\Gamma}, \text{ ч};$$

T_5 – время, требуемое для ТО (проверка и регулировка аппаратуры),

$$T_5 = t_{\Gamma} + t_p, \text{ ч};$$

T_6 – время нахождения в скрытом отказе до момента его обнаружения при наступлении ТО

$$T_6 = T_{об}, \text{ ч}.$$

Рассмотренная концептуальная модель может быть использована для реализации имитационного алгоритма, предназначенного для сбора статистики о процессе эксплуатации систем АИС в ходе компьютерных экспериментов и оценивания на их основе величины рациональной периодичности ТО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сирота, А.А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем / А.А. Сирота. -М.: Техносфера, 2006. -280 с.
- 2 Держо, Г.Г. Количественная оценка вклада систем связи в безопасность технологических процессов на железнодорожном транспорте: монография / Г.Г. Держо. -М.: ГОУ Учеб.-метод. центр по образованию на ж-д. трансп., 2007. -130 с.
- 3 Тихонов, В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.А. Миронов. -М.: Сов. радио, 1977. -488 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *концептуальная модель, полумарковский процесс, техническое обслуживание, ошибки диагностики*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Любченко Александр Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Копытов Евгений Юрьевич, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ И ЯВНОЙ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСКАВАТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Хакасский технический институт, филиал ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

В.П. Кочетков, А.В. Коловский

THE APPLICATION OF THE VARIABLE STRUCTURE SYSTEM AND THE EXPLICIT REFERENCE MODEL FOR THE CONTROL OF THE EXCAVATOR ELECTRIC DRIVE

Khakass technical institute, branch of «Siberian federal university»

V.P. Kochetkov, A.V. Kolovsky

Synthesis of the variable structure systems with the explicit reference model is done. The technique of choosing the reference model's parameters, consisting in synthesis of the closed tracking optimum system is offered.

Keywords: an excavator electric drive, a variable structure system, a sliding regime, a reference model

Выполнен синтез систем с переменной структурой с явной эталонной моделью. Предложена методика выбора параметров эталонной модели, заключающаяся в синтезе замкнутой следящей оптимальной системы.

Многие электромеханические системы (ЭМС) являются многомассовыми и, следовательно, на их динамику большое влияние оказывают зазоры в передачах и действие упругих элементов. Также жесткость упругой связи и момент инерции исполнительного органа могут значительно меняться в процессе технологического цикла и зависят от геометрического положения исполнительного органа в пространстве. Они являются сложными динамическими объектами, описываемыми системой дифференциальных уравнений высокого порядка, коэффициенты которых меняются в широком диапазоне. Примерами подобных объектов могут быть летательные аппараты, манипуляционные и мобильные роботы, станки, экскаваторы, различные технологические установки и процессы. Разработка и совершенствование методов и алгоритмов синтеза управления сложными динамическими объектами является актуальной проблемой современной теории и практики управления.

В работе в качестве такого объекта рассмотрен электропривод копающего механизма

экскаватора. Экскаваторный электропривод представляет собой сложную многомассовую систему и, следовательно, на его динамику большое влияние оказывают зазоры в передачах и действие упругих элементов. Параметры ЭМС, особенно жесткость канатов и момент инерции исполнительного органа, в процессе экскавации изменяются и зависят от положения ковша и заполнения его породой [1]. Обеспечение требуемого качества управления технологическими процессами экскавации целиком возлагается на систему управления.

Одним из перспективных подходов к синтезу систем управления сложными динамическими объектами является применение систем с переменной структурой. Наиболее широкое признание и применение в этой теории получило направление, изучающее скользящие режимы [2]. В таких режимах движение изображающей точки определяется уравнением поверхности переключения и не зависит от свойств объекта управления. То есть система, находящаяся в скользящем режиме, инвариантна к параметрическим и внешним возмущениям. В работе рассмотрено применение скользящих режимов для оптимизации динамики экскаваторного электропривода.

Напряжение, подаваемое на обмотку электрической машины и являющееся для нее управлением, в силу ключевого характера работы полупроводниковых элементов преобразователя напряжения, носит разрывный характер. В этом случае разрывный характер управлений, являющийся основным признаком систем с переменной структурой, является не навязанным системе извне свойством, а определяется ее физической природой. Этим обусловлена перспективность использования скользящих режимов для управления электроприводами.

Рассмотрим применение алгоритмов систем с переменной структурой для управления экскаваторным электроприводом, в условиях изменения его параметров в процессе работы. Один из возможных путей решения задачи управления в условиях неопределенности параметров состоит в том, что в системе используется эталонная модель, и целью управления становится сведение к нулю рассогласования между векторами состояния модели и объекта [2].

Математическое описание линеаризованного объекта управления при общепринятых допущениях представляется системой линейных дифференциальных уравнений:

$$\dot{X} = AX + Bu, \quad (1)$$

где X – вектор состояния системы,

$$X = [i_a \quad \omega_1 \quad M_y \quad \omega_2]^T;$$

u – управляющее воздействие;

A – квадратная матрица коэффициентов координат объекта управления, причем ее коэффициенты изменяются в некотором ограниченном диапазоне;

B – вектор-столбец управляющего воздействия, параметры которого не изменяются во времени.

Описание эталонной модели также выберем линейным

$$\dot{X}_m = A_m X_m + B_m u_m,$$

где X_m – вектор состояния модели;

A_m, B_m – постоянные матрицы, подобранные таким образом, чтобы обеспечить желаемые динамические процессы в модели;

u_m – входное воздействие модели.

Необходимо синтезировать такую функцию управления u с использованием информации о векторах состояния объекта X и модели X_m и входном воздействии модели u_m , чтобы вектор рассогласования $E = X_m - X$ был сведен к нулю.

Уравнение движения относительно вектора рассогласования

$$\dot{E} = A_m E - Bu + (A_m - A)X + B_m u_m. \quad (2)$$

Так как рассогласование E должно быть сведено к нулю, то векторы $(A_m - A)X$ и $B_m u_m$ рассматриваем как возмущающие воздействия, влияние на динамику системы которых можно устранить с помощью разрывного управления.

Поставленная задача будет решена, если на некоторой поверхности $s = CE = 0$ существуют устойчивые «в большом» режимы скольжения и решение линейного дифференциального уравнения, представляющее движение в скользящем режиме, асимптотически устойчи-

во.

Для приведения системы (1) к регуляторной форме [2, 3] введем пространство новых переменных, связанных с исходными линейным преобразованием $\bar{E} = ME$, чтобы для рассматриваемой двухмассовой электромеханической системы четвертого порядка выполнялось условие

$$MB = [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T. \quad (3)$$

Поведение системы (2) в пространстве новых переменных \bar{E} описывается уравнением:

$$\frac{d\bar{E}}{dt} = MA_M M^{-1} \bar{E} - MBu + M(A_M - A)X + MB_M u_M,$$

или

$$\begin{cases} \frac{dE_1}{dt} = A_{11}E_1 + A_{12}\bar{e}_4 + K_{11}X_1 + K_{12}X_4; \\ \frac{d\bar{e}_4}{dt} = A_{21}E_1 + a'_{44}\bar{e}_4 - u + K_{21}X_1 + k_{44}X_4 + b'_4u_M, \end{cases}$$

где E_1, \bar{e}_4 – соответственно 3-мерный и одномерный векторы состояния из компонент вектора \bar{E} ,

$$E = (E_1 \ \bar{e}_4)^T; E_1 = (\bar{e}_1 \ \bar{e}_2 \ \bar{e}_3)^T; X_1 = (x_1 \ x_2 \ x_3)^T; MAM^{-1} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & a'_{44} \end{pmatrix}; M(A_M - A) = K = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & k_{44} \end{pmatrix};$$

$$K_{11} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{pmatrix}; K_{12} = \begin{pmatrix} k_{13} \\ k_{23} \\ k_{33} \end{pmatrix}; K_{21} = \begin{pmatrix} k_{41} \\ k_{42} \\ k_{43} \end{pmatrix}; MB_M = B' = [0 \ 0 \ 0 \ b'_4]^T = [0 \ 0 \ 0 \ b_M/b].$$

Уравнение поверхности переключения $s = 0$ относительно новых переменных имеет вид

$$s = CM^{-1}\bar{E} = C_1E_1 + c'_4\bar{e}_4 = 0,$$

где $CM^{-1} = (C_1 \ c'_4)$; $C_1 = (c'_1 \ c'_2 \ c'_3)$, для простоты синтеза принимаем $c'_4 = 1$.

Система уравнений, описывающая движение в скользящем режиме

$$\begin{cases} \dot{E}_1 = A_{11}E_1 + A_{12}\bar{e}_4 + K_{11}X_1 + K_{12}X_4; \\ \bar{e}_4 = -C_1E_1. \end{cases} \quad (4)$$

Систему (4) можно рассматривать как разомкнутую систему с вектором состояния E_1 и управлением \bar{e}_4 и измеряемыми возмущениями X_1 и X_4 . Так как мы можем устранить их влияние на динамику замкнутой системы, то для синтеза поверхности переключения мы их действием пренебрегаем. Таким образом, нахождение поверхности скольжения сводится к задаче оптимального управления первым уравнением системы (4) без учета возмущений $K_{11}X_1$ и $K_{12}X_4$ [2, 3]. Однако, при определении законов управления, обеспечивающих попадание системы на поверхность переключения и дальнейшее движение по ней, необходимо будет учитывать действующие возмущения.

Для выбора коэффициентов эталонной модели найдем оптимальные коэффициенты обратной связи для ЭМС со средними параметрами в случае, когда желаемое равновесное состояние характеризуется ненулевым положением управляемой переменной.

Математическое описание в смещенных переменных [4]

$$\begin{cases} \frac{dX'}{dt} = AX' + Bu'; \\ y' = NX'; \end{cases}$$

$$u' = u - u_0; X' = X - X_0; y' = y - y_0;$$

где y_0 – заданное ненулевое положение управляемой переменной;

u_0 – необходимо для достижения y_0 входное воздействие, удерживающее систему в состоянии X_0 ;

$N = [0 \ 0 \ 0 \ 1]$ – для двухмассовой электромеханической системы с силовым полупроводниковым преобразователем.

Критерий оптимальности

$$J = \int_{t_0}^{t_1} [yqu + (u')^2] = \int_{t_0}^{t_1} [(X')^T N^T qNX' + (u')^2] = \int_{t_0}^{t_1} [(X')^T QX' + (u')^2],$$

где

$$Q = N^T q N.$$

Используя теорию АКОР и найдя оптимальное управление следящей системы [4], получаем математическое описание замкнутой системы

$$\dot{X} = (A - Bv)X + B \left[N(-A_3)^{-1} B \right]^{-1} y_0,$$

которое и играет роль эталонной модели.

Таким образом, эталонная модель имеет следующий вид

$$\dot{X}_m = A_m X_m + B_m u_m;$$

$$A_m = A_3 = (A - Bv); B_m = B \left[N(-A_3)^{-1} B \right]^{-1}; u_m = g = y_0; v = B^T P,$$

где P – решение нелинейного матричного алгебраического уравнения

$$PA + A^T P - PBB^T P + Q = 0.$$

Управляющее воздействие, обеспечивающее устойчивость режима скольжения, выберем в виде кусочно-линейной функции вектора рассогласования и вектора возмущения

$$u = \left(\alpha \sum_{i=1}^n |e_i| + \beta \sum_{i=1}^n |f_i| \right) \text{sign}(s). \quad (5)$$

Для движения в скользящем режиме по поверхности $s = 0$, необходимо решить задачу обеспечения устойчивости движения в подпространстве, которое описывается уравнением

$$\dot{s} = HE - du + LF = 0;$$

$$H = CA_m; d = CB; L = [C(A_m - A) \quad CB_m]; F = (X^m \quad u_m)^T.$$

Для её решения воспользуемся функцией Ляпунова, взятой в виде положительно определенной квадратичной формы

$$V = 0,5s^2.$$

Учитывая, что значение полной производной по времени квадратичной формы должна быть меньше нуля, находим условия устойчивости режима скольжения

$$\begin{cases} d\alpha > \max(|h_i|) \\ d\beta < \max(|l_i|) \end{cases}.$$

Алгоритмическая схема полученной системы управления с переменной структурой представлена на рисунке.

В результате исследований выявлено, что применение системы управления, основанной на системе с переменной структурой с явной эталонной моделью, позволило получить инвариантную к изменению параметров систему. Также использование в системе с переменной структурой явной эталонной модели значительно уменьшает время вывода замкнутой системы на режим скольжения, следовательно в режиме скольжения система работает не завершающий этап переходного процесса, а большую его часть.

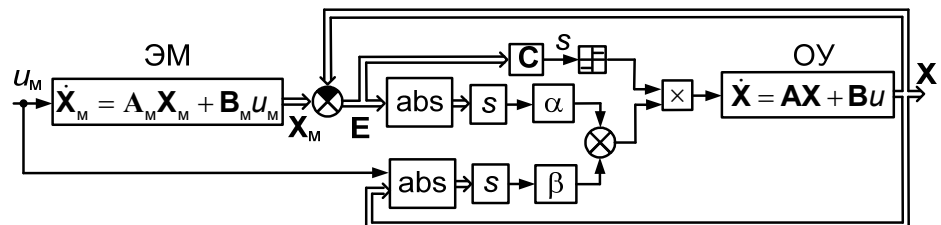


Рисунок – Структурная схема системы с переменной структурой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков, Д. П. Динамика электромеханических систем экскаваторов / Д.П. Волков, Д.А. Каминская. -М.: Машиностроение, 1971. -384 с.
2. Уткин, В.И. Скользящие режимы в задачах управления и автоматизации / В.И. Уткин. -М.: Наука, 1981. -368 с.
3. Кочетков, В.П. Оптимизация динамики электромеханической системы с помощью систем с переменной структурой / В.П. Кочетков, П.Э. Подборский, А.В. Коловский // Мехатроника, автоматизация, упр. -2009. -№10(103). -С. 42-47.
4. Квакернак, Х. Линейные оптимальные системы управления / Х. Квакернак, Р. Сиван. -М.: Мир, 1977. -650 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экскаваторный электропривод, система с переменной структурой, скользящий режим, эталонная модель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кочетков Владимир Петрович, докт. техн. наук, профессор ХТИ, филиал ФГАОУ ВПО «СФУ»

Коловский Алексей Владимирович, ассистент ХТИ, филиал ФГАОУ ВПО «СФУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 655017, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27, ХТИ, филиал ФГАОУ ВПО «СФУ»

СТАТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА – СПОСОБА НАЛАДКИ КОММУТАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»
Тайгинский институт железнодорожного транспорта, филиал
ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов

STATIC AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF GEOMETRY OF MAGNETIC SYSTEM OF ADDITIONAL POLES OF TRACTION ELECTRIC MOTORS AND WORKING OUT OF A NEW METHOD – A WAY OF ADJUSTMENT OF SWITCHING

«Omsk state transport university»
Sh.K. Ismailov, O.V. Gateljuk, V.V. Bublik, E.I. Selivanov

In article on the basis of the analysis of the statistical data of research of geometry of magnetic system of additional poles of traction electric motors the new method-way of adjustment of switching is offered.

Keywords: switching, magnetic system of a skeleton, additional pole, the core, method-way, sparking

На основе анализа статистических данных исследования геометрии магнитной системы дополнительных полюсов тяговых электродвигателей предложен новый метод-способ наладки коммутации.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования коммутационного процесса в тяговых электродвигателях (ТЭД) показывают, что на качество коммутации оказывает множество факторов. Наиболее существенное – отрицательное воздействие на работу ТЭД оказывают два фактора: фактор механической и электромагнитной природы [1]. Коммутационные испытания ТЭД в условиях ремонтных депо и заводов производят преимущественно после механической обработки коллектора (обточка, продорожка, снятия фасок, накатки и т.д.), так как в основном все эти виды работ (за исключением накатки) заложены в технологический процесс ремонта якоря ТЭД. Что же касается фактора электромагнитной природы, то при ремонте магнитной системы остова ТЭД, в частности дополнительных полюсов (ДП), имеется очень много вопросов, касающихся технологии ремонта. В чем же они?

Магнитная система остова ТЭД ТЛ-2К1 – шестиполюсная, то есть имеет по шесть главных и дополнительных полюсов, и шесть компенсационных обмоток. Магнитная система ДП состоит в свою очередь из сердечника и катушки. Сердечники ДП имеют три основных типоразмера: 104,5; 102,5 и 100,5 мм с допуском в $\pm 0,15$ мм. Учитывая достаточно невысокую техническую культуру при производстве и ремонте сердечников ДП, их высота находится в диапазоне от 97 до 107 мм.

Так как в ТЭД имеется шесть ДП, то возникает вопрос все ли сердечники имеют одинаковую высоту, а если нет, то установить диапазон разброса высоты всех сердечников ДП, а также каждого из них на своем штатном месте в магнитной системе отдельного остова, то есть ДП1, ДП3, ..., ДП11. Предварительные результаты замеров магнитной системы ДП показали, что в одном и том же остове ТЭД все сердечники имеют различные размеры по высоте, а отсюда возникает несимметрия магнитной системы в коммутационной зоне, что, безусловно, отрицательно сказывается на качестве коммутации ТЭД от воздействия фактора электромагнитной природы.

В свою очередь разброс высоты сердечников ДП, но при одной и той же величине второго диамагнитного зазора, приводит к существенному разбросу первого воздушного зазора, величина которого варьируется также в очень широком диапазоне и может достигать $\delta_1 = 1$ мм [1].

Для анализа и разработки нового метода-способа по корректировке магнитной системы ДП и наладки коммутации ТЭД в ремонтном депо Тайга были подвергнуты исследованию опытная партия в 328 ТЭД ТЛ-2К1.

Статистические данные для каждого из этих шести полюсов назовем серией и количество серий обозначим через r .

Для проведения дальнейшей статистической обработки необходимо ответить на во-

прос, принадлежат ли эти различные серии одной генеральной совокупности (то есть можно ли их объединить в одну выборку) или нет (то есть дальнейшую обработку надо вести раздельно). Воспользуемся критерием однородности выборки χ^2 .

Общая схема его применения описывается следующим образом:

а) для всех r серий выполняется группировка результатов наблюдений высоты сердечников ДП, при этом количество интервалов группирования k и границы этих интервалов должны совпадать; обозначим через n_{ji} ($i = 1, 2, \dots, k$; $j = 1, 2, \dots, r$) количество элементов j -й серии, попавших в i -й интервал группирования;

б) вычисляется величина критерия

$$\chi^2 = N \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r (n_{ij} - N_{i0} N_{0j} / N)^2 / N_{i0} N_{0j}; \quad (1)$$

$$N_{0j} = \sum_{i=1}^k n_{ij}; N_{i0} = \sum_{j=1}^r n_{ij}; N = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r n_{ij};$$

где N_{0j} – количество элементов (объем) j -й серии;

N_{i0} – количество элементов всех r серий, попавших в i -й интервал группирования;

N – общее количество элементов во всех r сериях.

в) задаваясь уровнем значимости α (вероятностью допустить ошибку первого рода, то есть отвергнуть верную гипотезу) и числом степеней свободы $s = (r-1)(k-1)$, по таблицам [2] либо с помощью встроенной в Microsoft Excel функции «ХИ2ОБР» (α ; s) определяем критическое значение $\chi_{кр}^2$;

г) если $\chi^2 > \chi_{кр}^2$, то гипотезу об однородности серий выборки следует отвергнуть.

В случае данных выборок $r=6$ и $\alpha=0,05$. Вычисления показывают, что $\chi^2=275,3 > \chi_{кр}^2 = 61,66$; откуда делаем вывод о том, что гипотезу об однородности серий выборки нужно отвергнуть. Нарушения в технологии ремонта и изготовления сердечников ДП ТЭД ТЛ-2К1 приводят к разбросу их размеров по высоте.

Приведем формулы для обработки одной серии. Для оценки основных параметров данной серии найдем точечные оценки математического ожидания и стандартного отклонения выборок по следующим формулам для сгруппированных данных. Для математического ожидания оценкой является выборочное среднее \hat{x}_B

$$\hat{x}_B = \sum_{i=1}^k v_i x_i^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i x_i^{(0)}, \quad (2)$$

где n – объем выборки в данной серии

$$n = \sum_{i=1}^k n_i;$$

v_i – относительные частоты попадания в i -ый интервал группирования

$$v_i = \frac{n_i}{n}; i = 1, 2, \dots, k;$$

$x_i^{(0)}$ – середины интервалов группирования.

Для нахождения оценки дисперсии применим формулу

$$\hat{D}_B = \frac{n}{(n-1)} \left[\sum_{i=1}^k (x_i^{(0)} - \hat{x}_B)^2 v_i - \frac{h^2}{12} \right] = \frac{n}{n-1} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (x_i^{(0)} - \hat{x}_B)^2 n_i - \frac{h^2}{12} \right], \quad (3)$$

(с учетом поправки Шепарда $h^2/12$). Для оценки дисперсии, вычисленной на основе группированных данных (равные интервалы группирования имеют длину h), известно, что они в среднем увеличиваются соответственно на $h^2/12$.

Для нахождения оценки стандартного отклонения $\hat{\sigma}_B$ воспользуемся следующей формулой

$$\hat{\sigma}_B = \sqrt{\hat{D}_B}. \quad (4)$$

Исходя из вида гистограмм для каждой из серий, можно выдвинуть гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности. Случайная величина X имеет нормальное распределение с параметрами m, σ^2 , если ее функция плотности распределения имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right] = \frac{1}{\sigma} \varphi(u), \quad (5)$$

где

$$u = (x-m)/\sigma; \varphi(u) = \exp(-u^2/2)/\sqrt{2\pi}.$$

Функция распределения нормально распределенной случайной величины имеет вид

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x-m}{\sigma}\right) + 0,5, \quad (6)$$

где $\Phi(u)$ – функция Лапласа,

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (7)$$

Для отыскания значений функций Лапласа составлены специальные таблицы. Для отыскания функции распределения $F(x)$ нормально распределенной случайной величины можно воспользоваться встроенной в Microsoft Excel функцией «НОРМСТРАСП».

Для оценки параметров нормального распределения воспользуемся найденными ранее величинами

$$m = \hat{x}_B; \sigma^2 = \hat{D}_B. \quad (8)$$

Результаты математической обработки статистических данных разброса высоты сердечников ДП представлены в таблице и в виде гистограмм на рисунке.

Таблица – Статистические исследования диапазона разброса высоты сердечников дополнительных полюсов ТЭД ТЛ-2К1

№ сердечника ДП	Математическое ожидание, мм	Дисперсия, мм	Среднее квадратическое отклонение, мм	Диапазон разброса высоты сердечника ДП, мм
ДП1	102,31	4,55	2,13	100,18÷104,44
ДП3	103,13	3,04	1,74	101,39÷104,87
ДП5	102,54	2,57	1,60	100,94÷104,14
ДП7	102,45	2,57	1,60	100,85÷104,05
ДП9	102,46	2,88	1,70	100,76÷104,16
ДП11	102,33	2,19	1,48	100,85÷103,81
ДП1÷ДП11	102,54	3,05	1,75	100,79÷104,29

Анализ результатов коммутационных испытаний ТЭД в депо Тайга и Московка позволил получить данные о распределении частоты появления ТЭД ТЛ-2К1 с тем или иным уровнем искрения. Доля двигателей, имеющих повышенный уровень искрения, составляет 30-40 %, но именно эта группа ТЭД в эксплуатации дает 80-90% электрических отказов – пробой изоляции обмоток полюсов, якоря [1].

Как показывают результаты обработки статистических данных, высоты сердечников для различных ДП ТЭД ТЛ-2К1 не подчиняются нормальному распределению даже в случае объединения выборок, чего можно было бы ожидать исходя из специфики задачи. Более того, выборки, соответствующие различным полюсам, не представляют собой однородного массива данных, то есть статистические распределения различаются значительно. Это свидетельствует об отсутствии симметрии при установке сердечников ДП ТЭД ТЛ-2К1, что позволяет статистически обосновать вывод о неудовлетворительном качестве коммутации в ТЭД электровозов ВЛ10 и необходимости разработки нового метода – способа наладки коммутации.

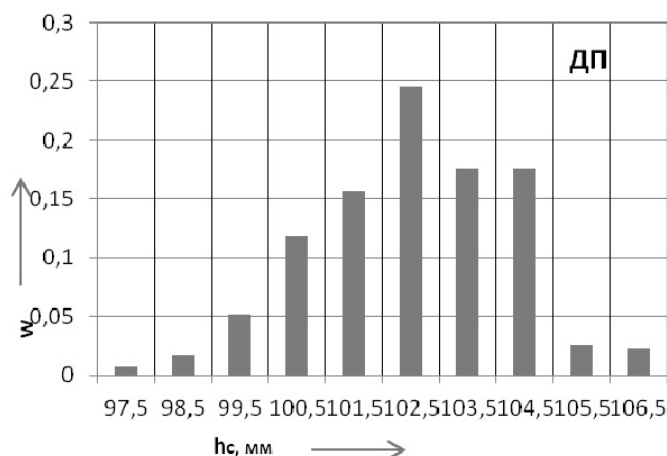


Рисунок – Гистограмма относительных частот разброса высоты сердечников ДП ТЭД ТЛ-2К1

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 Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. -М.: Высш. шк., 2001. -479 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коммутация, магнитная система остова, дополнительный полюс, сердечник, метод-способ, искрение

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.- мат. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Бублик Владимир Васильевич, преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Селиванов Евгений Иванович, директор ТИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
652401, Кемеровская область, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, ТИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ ДЛЯ УСТАНОВОК НАГРЕВА ВОДЫ

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

А.В. Сериков, В.М. Кузьмин, В.И. Костюченко

THE RESEARCH OF THE TRANSFORMERS WITH A SPATIAL MAGNETIC SYSTEM FOR THE WATER HEATING PLANTS «Komsomolsk-on-Amur state technical university»

A.V. Serikov, V.M. Kuzmin, V.I. Kostyuchenko

The design of the transformer type heating element with a spatial magnetic system is presented. The calculation specificities of such device are described. The instructions for designing the 25 kW transformer are given.

Keywords: transformer type heating element, spatial magnetic system, method of planning an experiment

Представлена конструкция нагревательного элемента трансформаторного типа с пространственной магнитной системой. Описаны особенности расчёта такого устройства. Даны рекомендации для проектирования трансформатора мощностью 25 кВт.

Проблема тепло- и горячего водоснабжения потребителей, удалённых от централизованных систем теплоснабжения (в том числе и на транспорте), в настоящее время является актуальной. В качестве нагревательных элементов в приборах электронагрева широко применяются трубчатые нагревательные элементы, которые наряду с неоспоримыми достоинствами (простота конструкции, дешевизна) имеют ряд существенных недостатков (низкий класс электробезопасности, небольшой срок службы и невысокая надёжность). Качественно улучшить условия подготовки горячей воды могут нагревательные элементы трансформаторного типа (НЭТ), в которых индуктор, как в обычных силовых трансформаторах, состоит из магнитопровода и первичной обмотки. Вторичная обмотка выполнена в виде короткозамкнутого витка [1].

В работе проведено исследование НЭТ на основе трёхфазного трансформатора с пространственной магнитной системой призматической формы 1. На стержнях магнитопровода размещена многослойная первичная обмотка 2 (рисунок 1). Вторичная обмотка состоит из трёх цилиндров 3, концентрически охватывающих первичные обмотки, боковины 4, охватывающей все три стержня с обмотками и двух торцевых дисков 6 (верхнего и нижнего). Конструкция вторичной обмотки образует полу герметичную камеру 5, в которой циркулирует нагреваемая жидкость.

Так как существующие методики проектирования силовых трансформаторов не учитывают особенности конструкции и режима эксплуатации НЭТ, то целью работы является по-

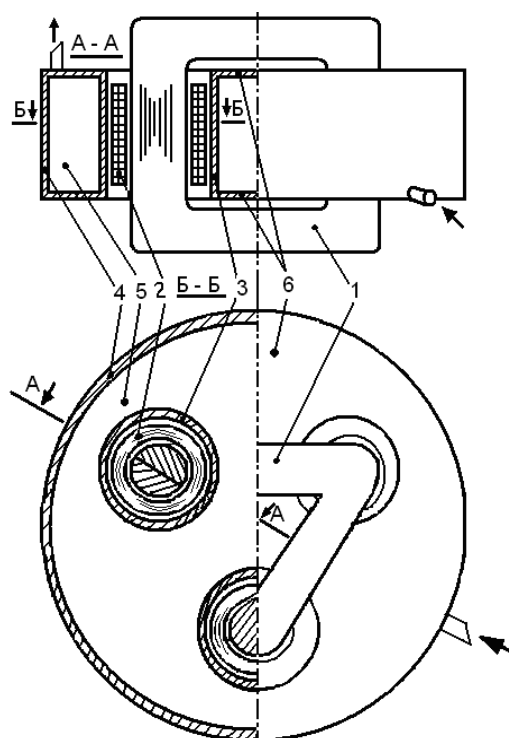


Рисунок 1 – НЭТ с пространственной магнитной системой

лучение рекомендаций по выбору исходных данных для расчёта такого устройства.

За основу принята методика расчёта трёхфазного силового двухобмоточного сухого трансформатора [2]. Основной особенностью проектирования НЭТ является расчёт вторичного короткозамкнутого контура, который обеспечивает необходимые тепловые потери. Радиальные и осевые геометрические размеры должны быть привязаны к соответствующим размерам первичной обмотки. Толщина δ , подбирается таким образом, чтобы обмотка имела необходимое активное сопротивление и, следовательно, обеспечивала заданную мощность тепловыделений P_2 , определяемую по формуле

$$P_2 = m \cdot E_e^2 \left(\frac{1}{R_{2u}} + \frac{2}{R_{2m}} \right),$$

где m – число фаз;

E_e – ЭДС витка;

R_{2u}, R_{2m} – активные сопротивления цилиндра и торцевой части вторичной обмотки.

Важным этапом при расчёте трансформатора является оценка его теплового состояния, которая производилась с помощью схемы замещения в среднем по высоте сечении стержня. Расчёт проводился для наиболее нагруженного режима работы, когда все потери идут на нагрев воды в баке (теплоизолированный корпус). Тепловые сопротивления и коэффициент конвективной теплоотдачи определялись по известным методикам и формулам [3].

Экономический расчёт включает в себя определения масс и ориентировочную стоимость активных материалов $C_{акм}$. Особенностью является то, что для сравнения различных вариантов удобно выразить $C_{акм}$ в условных единицах с помощью коэффициентов k_{1c} и k_{2c} , которые определяют отношение стоимости 1 кг материалов первичной и вторичной обмоток, соответственно, к стоимости 1 кг электротехнической стали. Величина $C_{акм}$ оценивалась по формуле

$$C_{акм} = G_{cm} + k_{1c} G_1 + k_{2c} G_2,$$

где G_{cm}, G_1, G_2 – массы электротехнической стали, обмоточного провода и материала вторичной обмотки.

В работе выполнен расчёт НЭТ мощностью 25 кВт с вторичной обмоткой, выполненной из алюминиевого сплава АМГ5М, и первичной обмоткой из алюминиевого прямоугольного провода. Схема соединения первичной обмотки – звезда. Величина фазного напряжения – 220 В.

Тепловое состояние оценивалось для наиболее нагруженного режима при средней температуре нагреваемой воды 77,5 °С и её расходе 23,8 л/мин. При этом температура воды на входе в нагревательный элемент задавалась 70 °С (максимально допустимая в обратном трубопроводе при использовании в автономной системе теплоснабжения), а на выходе 85 °С. Результаты теплового расчёта для трансформатора мощностью 25 кВт показывают, что необходимо использовать изоляционные материалы класса нагревостойкости Н.

В экономическом расчёте учитывались цены на алюминиевый обмоточный провод марки АПСДК (147 руб./кг) [4], электротехническую сталь 3413 (108 руб./кг) [5] и алюминиевый сплав АМГ5М (179 руб./кг) [6].

С целью получения рекомендаций для проектирования таких трансформаторов в работе исследовано влияние числа витков в первичной обмотке w_1 и геометрического коэффициента β на стоимость активных материалов $C_{акм}$, толщину листа вторичного контура δ , максимальную температуру изоляции t_{us} и плотность теплового потока с поверхности цилиндра вторичной обмотки в воду W_n . Коэффициент β так же, как и в традиционных силовых трансформаторах определяет соотношение между диаметром и высотой обмотки и для исследуемого устройства определяется по формуле

$$\beta = \frac{\pi d_{12}}{\ell} = \frac{\pi(D_{1в} + D_{2н})}{2\ell},$$

где d_{12} – средний диаметр первичной обмотки и цилиндра вторичной обмотки;

$\ell, D_{1в}$ – высота и внутренний диаметр первичной обмотки, соответственно;

$D_{2н}$ – наружный диаметр цилиндра вторичной обмотки.

Математические модели, которые связывают все перечисленные параметры, получены

с помощью метода планирования эксперимента на основе ортогонального центрального композиционного плана второго порядка, что позволяет получить достаточно точные аппроксимирующие выражения в виде полиномов второй степени [7]. Электромагнитные нагрузки выбирались с учётом существующих рекомендаций для классических силовых трансформаторов. Очень важным моментом является выбор интервалов варьирования переменных факторов w_1 и β , так как от этого зависят в значительной степени результаты эксперимента и точность моделей. Задача осложняется тем, что число витков в первичной обмотке не может быть дробным, а уточнённый в результате расчётов коэффициент β может отличаться от предварительно заданного значения. Это объясняется тем, что геометрический коэффициент в большей степени определяется размерами первичной обмотки, которые зависят от распределения витков по слоям. Количество слоёв и число витков в слое так же не может быть дробными значениями.

По результатам расчётного эксперимента определены коэффициенты полиномов и получены следующие выражения в кодированной системе координат

$$\begin{aligned} C_{акт} &= 61,854 - 0,023w_1 - 0,785\beta + 2,955w_1\beta + 2,483w_1^2 + 1,848\beta^2; \\ \delta &= 1,076 + 0,523w_1 + 0,378\beta + 0,19w_1\beta + 0,097w_1^2 + 0,032\beta^2; \\ t_{уз} &= 153,1 + 7,25w_1 + 13,233\beta + 3,075w_1\beta + 1,05w_1^2 + \beta^2; \\ W_n &= 5,989 - 0,277w_1 + 0,777\beta - 0,245w_1\beta - 0,083w_1^2 - 0,183\beta^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Зависимость $C_{акт} = f(w_1, \beta)$ в факторном пространстве отображается в виде поверхности отклика (рисунок 2), которая имеет точку экстремума $C_{акт.min}$ с координатами $w_{1min} = -0,23$ и $\beta_{min} = 0,4$. Им соответствуют истинные значения факторов $w_{1min} = 239$ витков и $\beta_{min} = 1,11$.

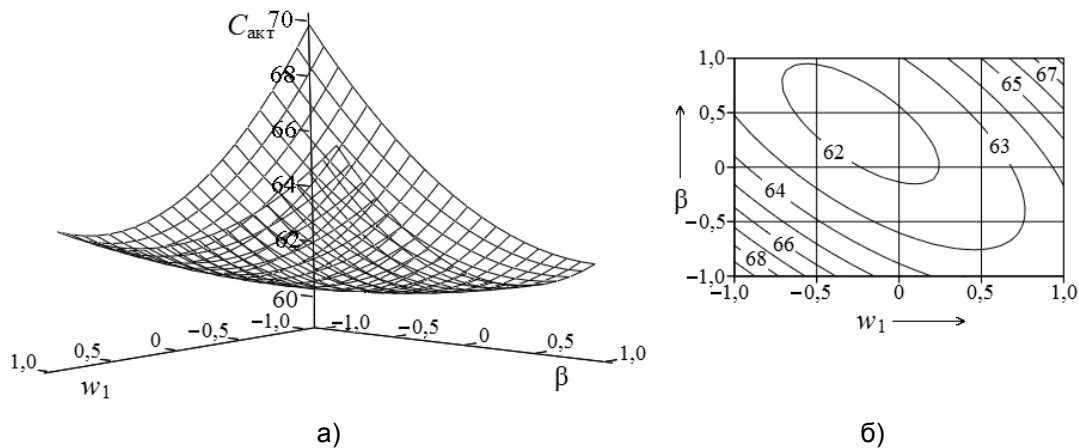


Рисунок 2 – Поверхность отклика (а) и контурный график (б)

При выборе варианта для проектирования НЭТ минимальной стоимости учитывались следующие обстоятельства. Во-первых, для обеспечения повышенной электробезопасности максимальное напряжение прикосновения к вторичной обмотке должно быть меньше допустимого. При расчёте принималось максимально возможное напряжение витка 2 В. Во-вторых, с целью замедления процесса образования накипи плотность теплового потока с теплоотдающей поверхности (наружной поверхности цилиндров) ограничивалось величиной 10 Вт/см². В-третьих, температура изоляционных материалов не должна превышать допустимого значения для выбранного класса нагревостойкости Н. В-четвёртых, толщина вторичной обмотки не может быть менее 1 мм для обеспечения достаточной прочности бака и возможности использования сварки. Другие ограничения не ставились, так как распространять требование обеспечения заданных значений напряжения короткого замыкания и тока холостого хода на трансформаторы данного класса не целесообразно.

С целью получения рекомендаций для расчёта НЭТ по полиномам (1) были построены зависимости $C_{акт} = f(w_1)$, $\delta = f(w_1)$, $t_{уз} = f(w_1)$ и $W_n = f(w_1)$ при условии $\beta = \beta_{min}$ (рисунок 3а) и $C_{акт} = f(\beta)$, $\delta = f(\beta)$, $t_{уз} = f(\beta)$ и $W_n = f(\beta)$ при $w_1 = w_{1min}$ (рисунок 3б). Анализ полученных графиков показывает, что функции для стоимости активных материалов имеют минимумы, которые определяют рекомендации по выбору числа витков первичной обмотки w_1 и геометрического коэффициента β . Ограничивающими условиями являются температура изо-

ляционных материалов $t_{из}$, толщина вторичной обмотки δ и плотность теплового потока $W_{п}$. Таким образом, из рисунка 3 видно, что для трансформатора мощностью 25 кВт число витков в первичной обмотке рекомендуется выбирать в пределах 230-263, а β – в пределах 1,04-1,29. Причём для удовлетворения всех ограничений при больших значениях β необходимо выбирать меньшие значения w_1 . В этом случае стоимость активных материалов не превышает минимальную стоимость более чем на 5%. Из графиков видно, что в исследуемом интервале изменения w_1 и β условие по ограничению плотности теплового потока $W_{п}$ выполняется.

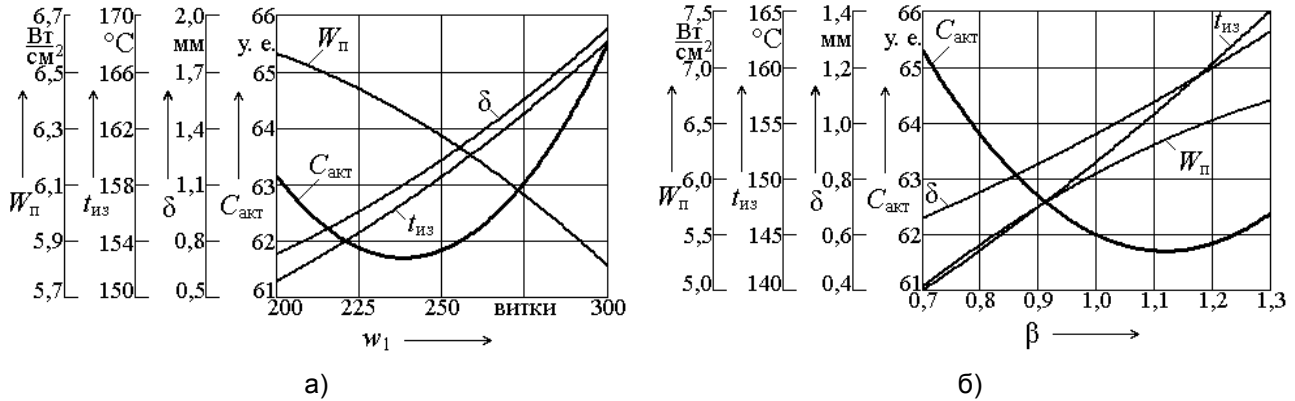


Рисунок 3 – Результаты исследований для НЭТ мощностью 25 кВт

Таким образом, в работе предложена конструкция трёхфазного трансформатора с короткозамкнутой вторичной обмоткой, работающего в качестве нагревательного элемента. Разработана методика расчёта с учётом особенностей конструкции, режима работы и эксплуатации таких устройств и проведены исследования трансформатора мощностью 25 кВт с вторичной обмоткой, выполненной из алюминиевого сплава. Предложены рекомендации по определению варианта при проектировании НЭТ минимальной стоимости с использованием математического аппарата метода планирования эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кузьмин, В.М. Электронагревательные устройства трансформаторного типа / В.М. Кузьмин. -Владивосток: Дальнаука, 2001. -143 с.
- 2 Тихомиров, П.М. Расчёт трансформаторов / П.М. Тихомиров. -5-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1986. - 528 с.: ил.
- 3 Сипайлов, Г.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: учеб. для вузов по спец. «Электромеханика» / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. -М.: Высш. шк., 1989.
- 4 Режим доступа: URL: <http://www.cabelplast.ru/obmotka>.
- 5 Режим доступа: URL: http://www.metalport.ru/prices/id_1621_page_6.
- 6 Режим доступа: URL: <http://www.avers-steel.ru/prices/AISI304.pdf>.
- 7 Ивоботенко, Б.А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б.А. Ивоботенко, Н.Ф. Ильинский, И.П. Копылов. -М.: Энергия, 1975. -184 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *нагревательный элемент трансформаторного типа, пространственная магнитная система, метод планирование эксперимента*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Сериков Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «КНАГТУ»*
Кузьмин Вячеслав Матвеевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «КНАГТУ»
Костюченко Владимир Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «КНАГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ФГБОУ ВПО «КНАГТУ»*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

С.А. Ступаков

PREDICTING RESOURCE CONTACT PAIRS OF DEVICES BASED ON THE CURRENT COLLECTION OF EXPERIMENTAL STUDIES
 «Omsk state transport university»
 S.A. Stupakov

In this article are presented the technique of experimental research and forecasting resource contact pairs on the basis of the resulting array of data.

Keywords: wear, contact element, installation of the reciprocating type, experimental research, forecasting, predicting resource

Рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований и прогнозирование ресурса контактных пар на основе полученного массива данных.

Актуальной проблемой при создании монорельсовых транспортных систем является задача надежной и экономичной передачи электроэнергии подвижному составу. Контактные пары устройств токосъема монорельсового транспорта подвержены повышенному электро-механическому износу. Одним из путей повышения срока их службы является выбор материалов, наиболее отвечающих требованиям качества токосъема.

В ОмГУПСе разработана методика [1] исследования износа контактных пар устройств токосъема, которая реализуется на специализированной установке [2] возвратно-поступательного типа (рисунок 1), используемой для исследования контактных пар со сложной геометрической поверхностью, характерных для систем токосъема монорельсового транспорта. Для реализации методики исследований конструкция установки предусматривает использование различных модулей: для исследования силы трения в скользящем контакте, для моделирования ударных процессов при прохождении токоприемником стыковых зон токопровода, для исследования износа при высоких или низких температурах и др.

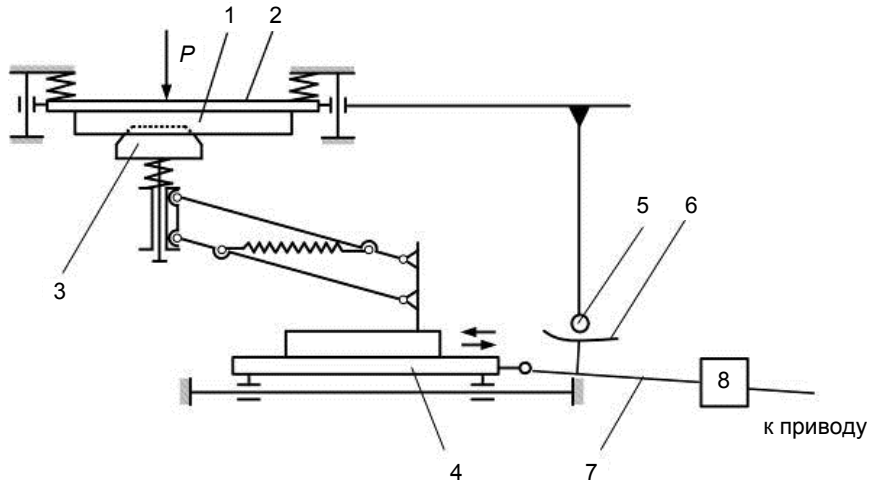


Рисунок 1 – Специализированная установка ОмГУПСа для исследования трения контактных пар

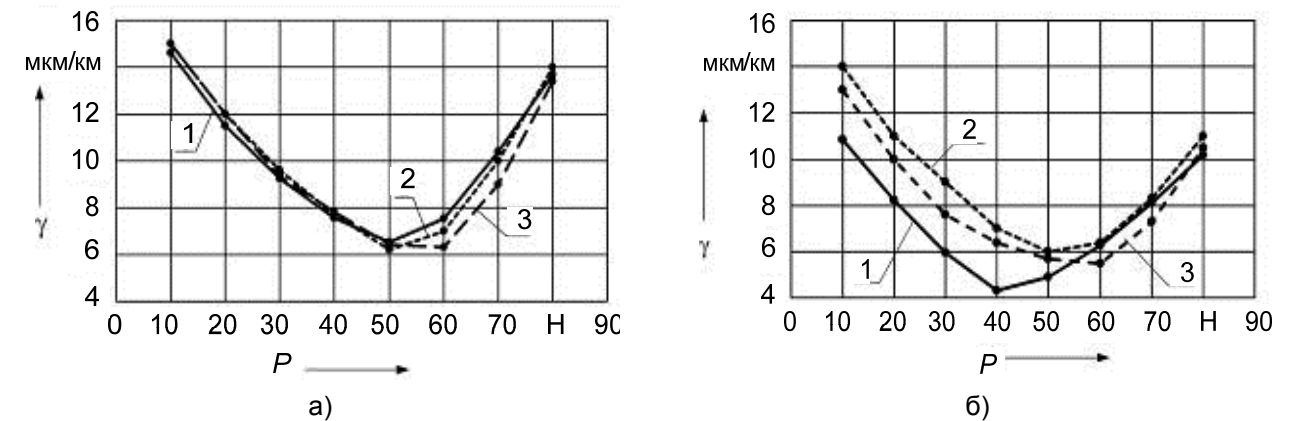


Рисунок 2 – Электромеханический износ при токовой нагрузке 250 А: а)-меднографитового КЭ; б)-КЭ из бронзы

Механическая часть установки включает в себя станину, на которой установлены направляющие, сочлененные со скользящими и закрепленной на них подвижной кареткой 4. На каретке закреплен токоприемник с контактным элементом 3, взаимодействующий с отрезком токопровода 1, закрепленным на изолирующей пластине 2. Возвратно-поступательное перемещение каретки 4 осуществляется с помощью привода вращения, связанного с кареткой тягой 7, блок 8 предназначен для подключения перечисленных выше модулей. Помимо возвратно-поступательного установка позволяет проводить исследования при одностороннем движении, то есть имитировать реальный процесс движения в одном направлении. Процесс движения в одну сторону реализуется с помощью копира 6, который устанавливается на тяге. При движении ролика 5 по поверхности копира токопровод поднимается и половину пе-

риода вращения привода элементы трибосистемы не взаимодействуют. При реализации возвратно-поступательного режима работы установки в зоне контакта образуется значительное количество частиц износа, воздействующих на элементы контактной пары как абразив. Односторонний режим движения соответствует реальному процессу взаимодействия.

Методика экспериментальных исследований реализуется по следующим направлениям:

- оценка работоспособности трибосистемы «контактный элемент-токоприемник» при различных сочетаниях материалов и режимов испытания, соответствующих натурному узлу;

- сравнительные испытания пар трения с целью выявления наиболее отвечающих процессу эксплуатации;

- анализ чувствительности, то есть точное определение такого сочетания внешних факторов и их значений, при котором обеспечиваются наилучшие выходные характеристики всей трибосистемы; выявление функциональных соотношений между факторами и откликом системы;

- прогнозирование фрикционно-износных характеристик узла трения.

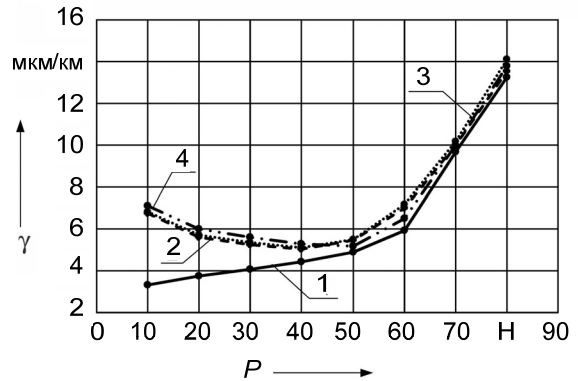


Рисунок 3 – Износ металлокерамического контактного элемента: 1-без тока; 2-переменный ток; 3-анодно-поляризованный постоянный ток; 4-катодно-поляризованный КЭ постоянный ток

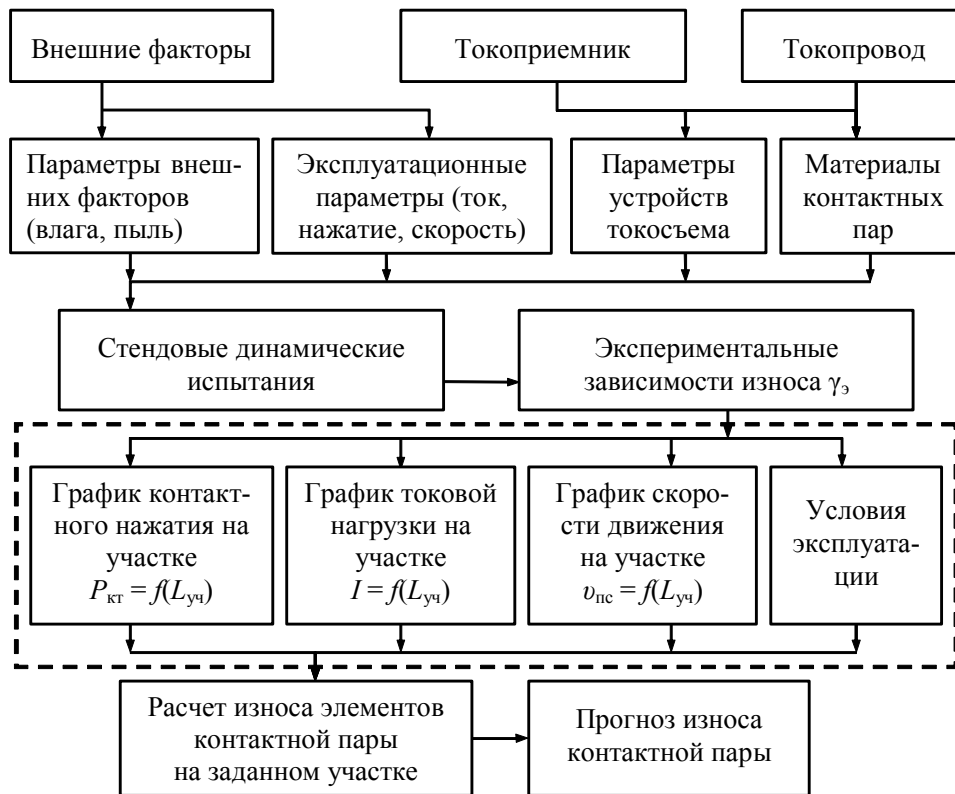


Рисунок 4 – Алгоритм прогнозирования износа контактных пар

Методика исследований была реализована при возвратно-поступательном и при однонаправленном движении элементов трибосистемы. Анализ результатов исследований показывает, что зависимости изнашивания элементов трибосистемы от нажатия при указанных режимах исследования имеют одинаковую форму, но значения износа различны. Это обусловлено тем, что при возвратно-поступательном движении в зоне трения образуются мелкодисперсные частицы изнашивания, обладающие свойствами поверхностно активных веществ (избирательный перенос), либо представляющими собой частицы абразива, которые приводят к интенсивному износу.

Графики изнашивания материалов контактных пар при наличии в контакте токовой нагрузки при переменном и постоянном токе (с анодно- и катодно-поляризованным контактным элементом) приведены на рисунке 2. На рисунке 2 приняты следующие обозначения: 1- переменный ток; 2 и 3- постоянный ток (соответственно 2- анодно-поляризованный, 3- катодно-поляризованный КЭ).

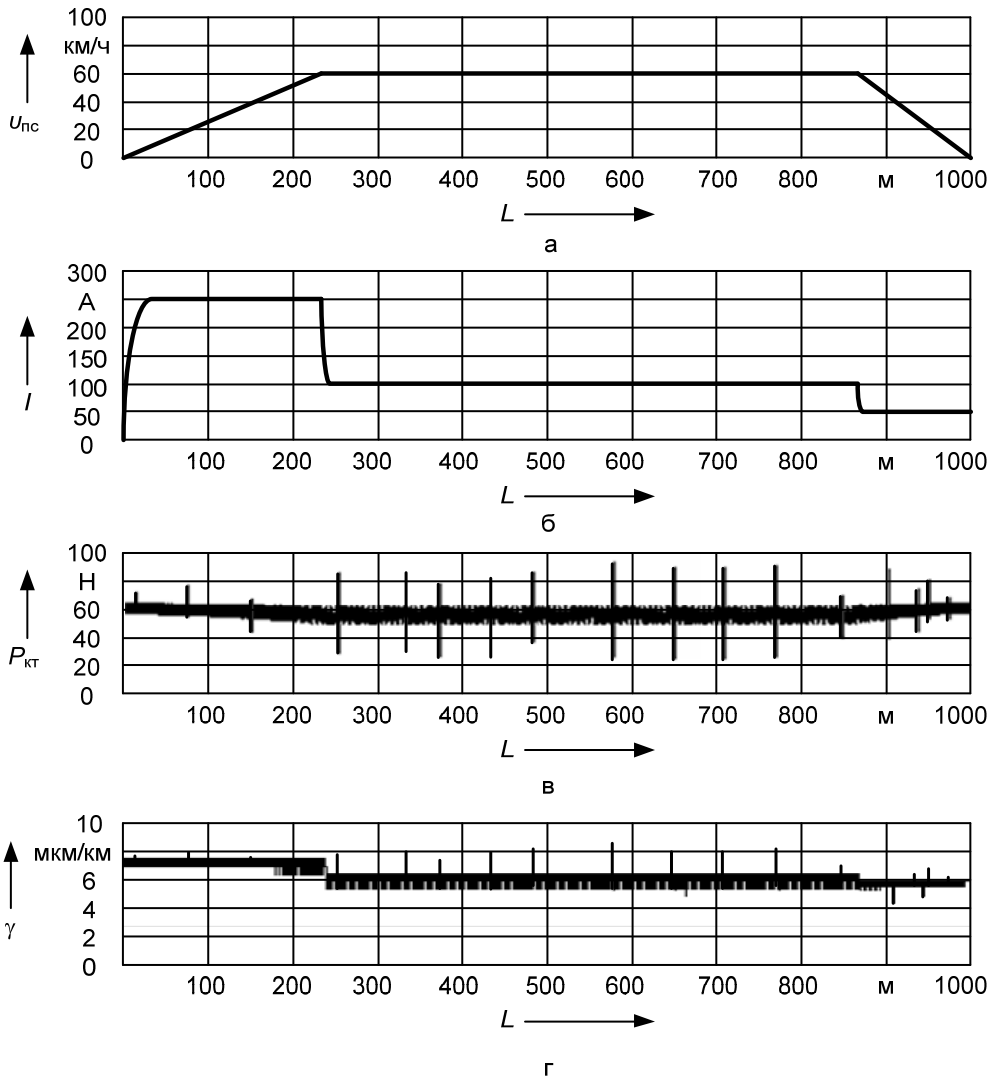


Рисунок 5 – Графики для прогнозирования износа КЭ: а)- скорости движения на участке; б)- токовой нагрузки (на один токоприемник); в)- контактного нажатия на участке; г)- удельный износ

Особый интерес представляют результаты исследований износа КЭ из металлокерамики. Выявлено, что в случае отсутствия тока в контакте происходит интенсивное изнашивание КЭ, частицы которого, концентрируясь на отдельных участках контактной поверхности, приводят к разрушению поверхности токопровода и его интенсивному абразивному изнашиванию. Картина изнашивания резко меняется при наличии токовой нагрузки – наблюдается резкое снижение количества абразива в контакте уже при значении тока 10 А. Для контактной пары «металлокерамика-БрНХ» имеют место аспекты, присущие синергетическим явлениям – наблюдается появление квазижидкого смазочного слоя. Возникновение указанного фактора обусловлено разрушением крупных фракций износа в результате повышения температуры поверхностных слоев контактирующих элементов при протекании нагрузочного тока. Это явление значительно уменьшает изнашивание металлокерамических контактных пар в режиме токовой нагрузки. Подобное явление приводит к снижению коэффициента трения на 28-30%, а износа в 1,5-2 раза. Результаты исследований металлокерамического контактного элемента приведены на рисунке 3.

Массив информации, полученной в результате экспериментальных исследований контактных пар, используется для прогнозирования износа контактных элементов. Алгоритм

прогнозирования представлен на рисунке 4.

Исходными данными для прогнозирования также являются: графики: контактного нажатия токоприемника; токовой нагрузки; скорости движения подвижного состава на конкретном участке; параметры условий эксплуатации (рисунок 5). Окончательный расчет износа контактных элементов и прогнозирование их ресурса осуществляется путем компьютерной обработки результатов анализа графика $P_{км}$ и U-образной зависимости износа.

Результаты исследований использованы для выбора материалов контактных пар устройств токосъема монорельсовой системы ОАО «Московские монорельсовые дороги».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сидоров, О.А. Методы исследования износа контактных пар устройств токосъема монорельсового электрического транспорта: монография / О.А. Сидоров, С.А. Ступаков; ОмГУПС. -Омск, 2009. -155 с.

2 Пат. №58463 Российская Федерация, МПК В60L3/12. Устройство для исследования скользящего контакта между токоприемником и токопроводом / О.А. Сидоров, С.А. Ступаков, А.С. Голубков, А.Н. Кутькин, В.М. Филиппов. -Заявл. 29.06.06; опубл. 27.11.06, Бюл. №33.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *износ, контактный элемент, установка возвратно-поступательного типа, экспериментальные исследования, прогнозирование ресурса*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Ступаков Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ВЛИЯНИЕ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА НА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Д.В. Рысев

INFLUENCE THE GENERATOR STATOR SATURATION ON THE ELECTROMECHANICAL RESONANCE

«Omsk state transport university»

D.V. Rysev

Stability of the power system with real parametres is considered at occurrence of an electromechanical resonance (EMR) within the limits of mathematical model of the turbine-generator-load power system. Occurrence of unstable area of work of the loaded synchronous generator is revealed. The stator generator saturation account Influence on change of a stability and occurrence EMR is analyzed. The attention to possibility of drop - out of synchronism of generators in electrical networks with longitudinal indemnification of the induced drag of a transmission line is paid.

Keywords: power system, stability, electromechanical resonance, saturation

Рассматривается устойчивость энергосистемы с реальными параметрами при возникновении электромеханического резонанса (ЭМР) в рамках математической модели энергосистемы турбина-генератор-нагрузка. Обнаружено возникновение неустойчивой области работы нагруженного синхронного генератора. Анализируется влияние учета насыщения магнитопровода статора генератора на изменение запасов устойчивости и возникновение ЭМР. Обращено внимание на возможность выпадения из синхронизма генераторов в электрических сетях с продольной компенсацией индуктивного сопротивления линии электропередачи.

Для того чтобы бифуркационный анализ электромеханического резонанса (ЭМР) в энергосистемах был более простым, но с сохранением всех качественных особенностей, обычно пренебрегают действием насыщения стали ротора и статора синхронных машин. В данной работе выполняется бифуркационный анализ полной математической модели энергосистемы. В этой математической модели учитывается насыщение, но пренебрегается АРВ и управлением турбиной.

Очевидно, что учет насыщения в осях d и q приводит к повышению точности модели. При учете насыщения стали в исследовании устойчивости принимают следующие допущения:

1 Поток рассеяния существует только в воздушном зазоре по пути основного магнитного потока. Следовательно, он не сильно влияет на насыщение стального сердечника. Таким образом, индуктивности рассеяния не зависят от насыщения стали. В результате насыщаются лишь взаимные потоки рассеяния ψ_{md} и ψ_{mq} .

2 Потоки рассеяния обычно небольшие и их путь совпадает с основным магнитным потоком. Таким образом, насыщение может быть определено только через поток в воздушном зазоре.

3 Отношение насыщения между потоком в воздушном зазоре и магнитодвижущей силой (МДС) под нагрузкой такое же, как и без нагрузки. Это позволяет представлять характеристики насыщения через кривую насыщения холостого хода.

В данной работе используются современные методы нелинейной динамики для анализа влияния насыщения стали статора и ротора генератора на ЭМР в реальной модели энергосистемы [1].

Рассмотрим энергосистему турбина-генератор-шина бесконечной мощности, представленную на рисунке 1. Модель и параметры выбраны для нагруженного генератора.

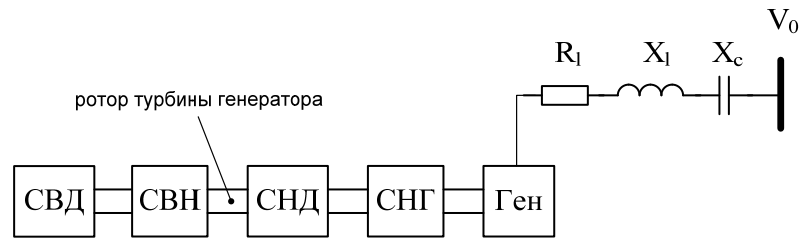


Рисунок 1 – Схема энергосистемы турбина-генератор-компенсированная нагрузка (механическая система (турбина) состоит из: ступени высокого-СВД, ступени низкого СНД давления, связей между ступенями СВН и СНГ и генератора Ген)

Система уравнений. Представим формулы потокосцеплений ψ_{md} и ψ_{mq} в функции токов, полученных опытным путем, полиномами третьего порядка:

$$\psi_{md} = d_0 + d_1(i_f - i_d) + d_2(i_f - i_d)^2 + d_3(i_f - i_d)^3; \quad (1)$$

$$\psi_{mq} = q_0 + q_1(i_Q - i_q) + q_2(i_Q - i_q)^2 + q_3(i_Q - i_q)^3, \quad (2)$$

в которых d_n и q_n - постоянные. Очевидно, что взаимные потокосцепления рассеяния ψ_{md} и ψ_{mq} – нелинейные функции токов генератора i_d, i_q, i_f и i_Q .

Потокосцепления рассеяния осей d и q ψ_d и ψ_q могут быть определены из взаимных потокосцеплений рассеяния ψ_{md} и ψ_{mq} следующим образом:

$$\psi_d = \psi_{md} - X_{le} i_d; \quad (3)$$

$$\psi_q = \psi_{mq} - X_{le} i_q; \quad (4)$$

$$\psi_f = \psi_{md} - X_{le} i_f; \quad (5)$$

$$\psi_Q = \psi_{mq} - X_{le} i_Q; \quad (6)$$

где X_{le} – реактивность утечки.

Модель энергосистемы описывается системой 16 нелинейных ОДУ первого порядка, 6 из которых относятся к электрической подсистеме, остальные 10 – к механической. Механическая подсистема состоит из турбины со ступенями высокого (СВД) и низкого (СНД) давления, двух связей между ними (СВН и СНГ) и генератора. Одна подсистема расположена между ступенями высокого и низкого давления турбины, другая – между ступеню низкого давления турбины и генератором (см. рисунок 1).

В данном случае не учитывается динамика АРВ и управление турбиной. Учитывается динамика демпферных обмоток оси q и насыщение генератора. В результате получим [2]:

$$a_{11} \frac{di_d}{dt} + a_{13} \frac{di_f}{dt} = [(R_l + R_a) i_d - X_l i_q + e_{cd} + v_0 \sin \delta_r + \omega_r \psi_q] \omega_b; \quad (7)$$

$$a_{22} \frac{di_q}{dt} + a_{24} \frac{di_Q}{dt} = [(R_l + R_a) i_q + X_l i_d + e_{cq} + v_0 \cos \delta_r - \omega_r \psi_d] \omega_b; \quad (8)$$

$$a_{31} \frac{di_d}{dt} + a_{33} \frac{di_f}{dt} = (v_f - R_f i_f) \omega_b; \quad (9)$$

$$a_{42} \frac{di_q}{dt} + a_{44} \frac{di_Q}{dt} = -R_Q i_Q \omega_b; \quad (10)$$

$$\frac{de_{cd}}{dt} = (\mu X_l i_d + e_{cq} \omega_r) \omega_b; \quad (11)$$

$$\frac{de_{cq}}{dt} = (\mu X_l i_q - e_{cd} \omega_r) \omega_b; \quad (12)$$

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{M_1} [-D_1 (\omega_1 - 1) - K_{12} (\theta_1 - \theta_2)]; \quad (13)$$

$$\frac{d\theta_1}{dt} = (\omega_1 - 1)\omega_b; \quad (14)$$

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{M_2} [-D_2(\omega_2 - 1) + K_{12}(\theta_1 - \theta_2) - K_{23}(\theta_2 - \theta_3)]; \quad (15)$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = (\omega_2 - 1)\omega_b; \quad (16)$$

$$\frac{d\omega_3}{dt} = \frac{1}{M_3} [-D_3(\omega_3 - 1) + K_{23}(\theta_2 - \theta_3) - K_{34}(\theta_3 - \theta_4)]; \quad (17)$$

$$\frac{d\theta_3}{dt} = (\omega_3 - 1)\omega_b; \quad (18)$$

$$\frac{d\omega_4}{dt} = \frac{1}{M_4} [-D_4(\omega_4 - 1) + K_{34}(\theta_3 - \theta_4) - K_{45}(\theta_4 - \delta_r)]; \quad (19)$$

$$\frac{d\theta_4}{dt} = (\omega_4 - 1)\omega_b; \quad (20)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{M_5} [-D_5(\omega_r - 1) + K_{45}(\theta_4 - \delta_r) + T_m - T_e]; \quad (21)$$

$$\frac{d\delta_r}{dt} = (\omega_r - 1)\omega_b; \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \mu &= X_c/X_l; T_e = i_q\psi_d - i_d\psi_q; a_{11} = -\zeta_1 - X_l - X_{le}; a_{22} = -\zeta_2 - X_l - X_{le}; a_{33} = \zeta_1 + X_{if}; \\ a_{44} &= \zeta_2 + X_{iq}; a_{13} = -a_{31} = \zeta_1; a_{24} = -a_{42} = \zeta_2; \zeta_1 = d_1 + 2d_2(i_f - i_d) + 3d_3(i_f - i_d)^2; \\ \zeta_2 &= q_1 + 2q_2(i_Q - i_q) + 3q_3(i_Q - i_q)^2, \end{aligned}$$

где X_{le}, X_{if}, X_{iq} – реактивности утечки

Уравнения (7)-(22) образуют систему 16 нелинейных ОДУ первого порядка, описывающую динамику энергосистемы, показанной на рисунке 1. $i_d, i_q, i_f, i_Q, i_d, i_q, \omega_1, \theta_1, \omega_2, \theta_2, \omega_3, \theta_3, \omega_4, \theta_4, \omega_r$ и δ_r – переменные системы. Использовались следующие параметры генератора и линии в о.е.:

$$\begin{aligned} R_f &= 0,001252; R_a = 0,0045; R_Q = 0,009957; R_l = 0,00172; X_l = 0,08366; X_{le} = 0,145; \\ X_{if} &= 0,1061; X_{iq} = 0,3819; d_0 = -0,1626; d_1 = 1,7374; d_2 = -0,8939; d_3 = 0,1876; \\ q_0 &= 0,0635; q_1 = 0,9808; q_2 = -0,3244; q_3 = 0,0489. \end{aligned}$$

Механические коэффициенты демпфирования, инерционности и жесткости в о.е.:

$$\begin{aligned} D_1 &= 0,02677; D_2 = 0; D_3 = 0,0415; D_4 = 0; D_5 = 0,06832; M_1 = 0,4930; \\ M_2 &= 0,03107; M_3 = 2,8383; M_4 = 0,1156; M_5 = 1,6512; K_{12} = 107,611; \\ K_{23} &= 61,705; K_{34} = 141,413; K_{45} = 175,208. \end{aligned}$$

Без учета насыщения генератора. Для случая без насыщения принимаем d_0, d_2, d_3, q_0, q_2 и q_3 равными нулю в (1) и (2), получим систему из 16 ОДУ. Рабочие состояния (н.у.) вычисляются путем подстановки нулей вместо производных переменных состояния системы (7)-(22).

На рисунке 2 показана зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от μ при $Q_e = 0,4358; P_e = 0,9$ и $v_t = 1,0$. Получили 14 комплексных и 2 действительных собственных значения. Поскольку матрица Якоби действительна, комплексно сопряжены все комплексные величины собственных значений, существует семь колебательных режимов. Из них два режима – электрические и пять – механические. Режим с наименьшей частотой – режим качания или электромеханический режим, остальные четыре механических режима – режимы вращения. Два из режимов вращения, третий и четвертый, сильно демпфируются и имеют большие частоты (1030 рад/с и 1450 рад/с). Следовательно, они не будут взаимодействовать с электрическими режимами при реальных уровнях компенсации. Два действительных собственных значения – отрицательны, одно относится к обмоткам поля, второе к демпферным обмоткам.

При небольших μ , частоты электрических режимов приблизительно 314 рад/с. С увеличением μ , подсинхронная и сверхсинхронная частоты разделяются. Сверхсинхронная час-

тота демпфируется, тогда как подсинхронная – нет. Акцентируем наше внимание на подсинхронной частоте и на том, как связанный с ней режим взаимодействует со вторым и первым режимами вращения.

Как видно из рисунка 2, при увеличении μ частота подсинхронного электрического режима уменьшается и достигает частоты второго режима вращения (186 рад/с) при $\mu = 0,601$. Из этого следует, что действительные части собственных значений второго режима вращения сдвигаются ближе к области положительных значений. Они становятся положительными при $\mu = 0,727$. В данном случае частота электрического режима пересекает второй режим вращения при значениях $\mu < 1$. При потере устойчивости точки равновесия из-за этого взаимодействия, устойчивость не восстанавливается при увеличении μ . Из этого можно заключить, что в данном случае существует лишь одна точка бифуркации Хопфа.

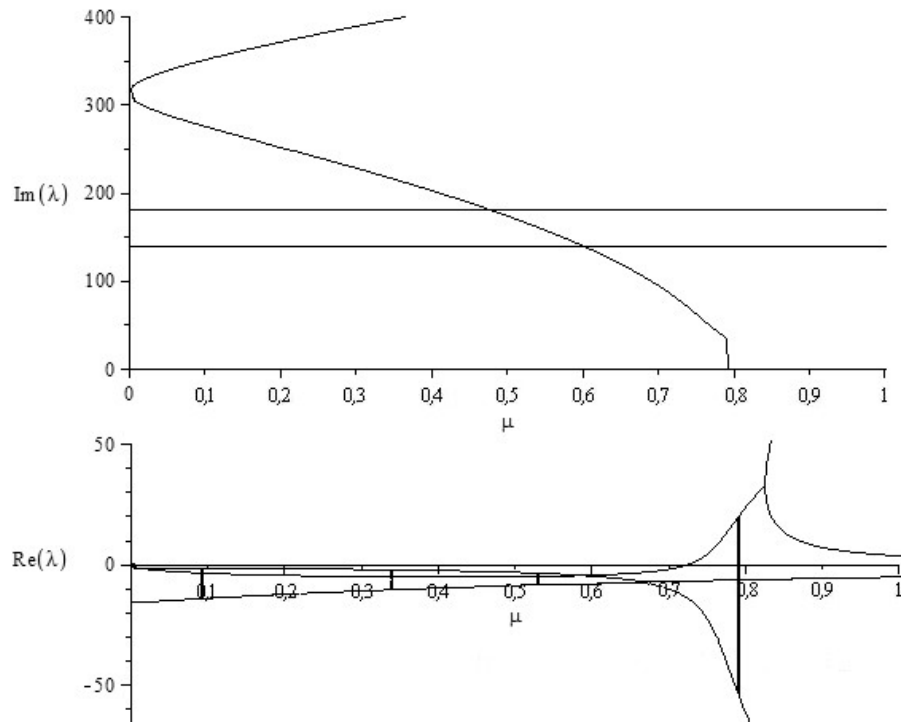


Рисунок 2 – Зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от μ при $P_e = 0,9$; $Q_e = 0,4358$ и $v_i = 1,0$

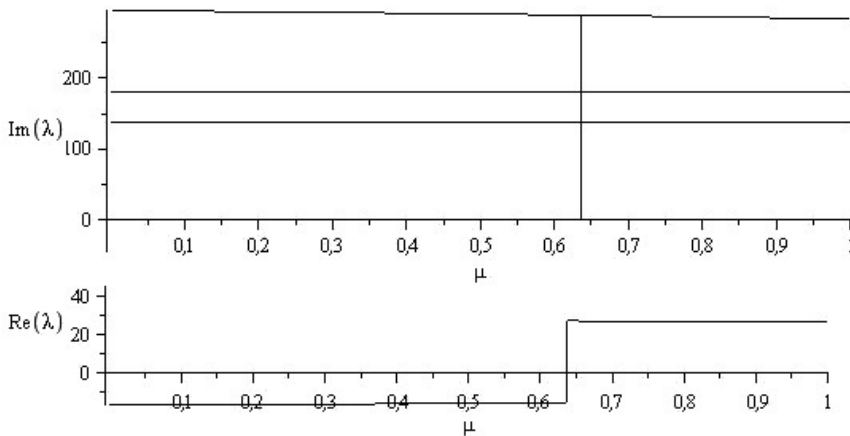


Рисунок 3 – Зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от μ при $P_e = 0,9$; $Q_e = 0,4358$ и $v_i = 1,0$

С учетом насыщения генератора. Рассмотрим влияние насыщения стали. На рисунке 3 показана зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от μ . При увеличении μ частота подсинхронного электрического режима уменьшается и имеет бифуркацию при $\mu = 0,638$. Действительная часть собственного значения второго режима вращения становится положительной при $\mu = 0,638$. Та-

ким образом, второй режим вращения теряет устойчивость из-за бифуркации Хопфа, что следует из рисунка 3.

Сравнивая рисунки 2 и 3, видим, что при учете насыщения бифуркация Хопфа происходит при меньшем значении, а именно при $\mu = 0,638$, тогда как без учета насыщения при $\mu = 0,727$. Другими словами, точка бифуркации Хопфа сместилась влево. Насыщение стали приводит к уменьшению области демпфирования, дестабилизируя систему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Harb, A.M. Controlling chaos and bifurcation of subsynchronous resonance in power system / A.M. Harb, M.S. Widyan // Nonlinear analysis: modeling and control. -2002. -Vol. 7, №2. -P. 15-36.
 2 Андерсон, П. Управление энергосистемами и устойчивость: пер. с англ. / П. Андерсон, А. Фуад ; под ред. Я.Н. Лугинского. -М.: Энергия, 1980. -568 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электроэнергетическая система, устойчивость, электромеханический резонанс, насыщение магнитопровода
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Рысев Дмитрий Валерьевич, ассистент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ОЦЕНКА ЭКРАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

А.Д. Коробенков, С.М. Коробейников

SHIELDING ASSESSMENT OF BUILDING COMMERCIAL FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS

«Novosibirsk state technical university»

A.D. Korobenkov, S.M. Korobeynikov

The paper presents the theoretical estimates and results of experimental investigations into the possibility of shielding building materials of concrete and brick commercial frequency electromagnetic fields.

Keywords: shielding, concrete, brick, electric field, magnetic field

Приведены теоретические оценки и представлены результаты экспериментальных исследований возможности экранирования строительными материалами из бетона и кирпича электромагнитных полей промышленной частоты.

Строительные материалы обладают естественной электропроводностью, которая зависит от влажности окружающей среды, температуры [1]. Обычный бетон не рассматривается как электротехнический материал из-за большой нестабильности его проводящих и изоляционных свойств. По данным разных авторов электрическая проводимость бетона может изменяться в широких пределах: $(0,8-100)10^{-4}$ См/м [1], $10^{-8}-10^{-3}$ См/м [2], $10^{-6}-10^{-2}$ См/м [3].

На основе существующих данных по электропроводности бетона можно сделать предварительные оценки по возможности экранирования строительными материалами из бетона электромагнитных полей (ЭМП) промышленной частоты. Оценить роль проводимости материала можно по максвелловскому времени диэлектрической релаксации, которое определяется по формуле

$$\tau = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \rho, \quad (1)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала;

ρ – удельное электрическое сопротивление, Ом·м.

Для бетона (в среднем, согласно данным [1]) удельное электрическое сопротивление после 2 лет эксплуатации $\rho = 200$ Ом·м. Относительная диэлектрическая проницаемость бетона $\varepsilon = 4,5$. Подставив данные в (1) и получим $\tau = 8 \cdot 10^{-9}$ с. Для 50 Гц соотношение $1/\omega$ составляет $3 \cdot 10^{-3}$ с, то есть выполняется условие $\tau \ll 1/\omega$ и бетон можно считать проводником, соответственно он должен эффективно экранировать электрическое поле.

С другой стороны, оценку экранирования электрического поля (ЭП) бетонной плитой перекрытия можно сделать, рассчитав эквивалентную глубину проникновения δ , характеризующую материал экрана [4]:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \gamma \cdot \mu}}, \quad (2)$$

где ω – угловая частота, рад/с;

γ – удельная электрическая проводимость, См/м;

μ – абсолютная магнитная проницаемость, $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

В простом случае для экрана из бетона примем то же значение $\rho = 200$ Ом·м, откуда удельная электрическая проводимость составит $\gamma = 0,5 \cdot 10^{-2}$ См/м. Рассчитанная глубина проникновения δ экрана в бетоне составит для промышленной частоты 1007 м. Это означает, что бетон экранирующими свойствами не должен обладать (для стали при 50 Гц, например, $\delta = 0,07$ м).

Таким образом, теоретические оценки возможности экранирования бетоном ЭМП 50 Гц

противоречивы, необходимы экспериментальные исследования по определению экранирующих свойств строительных материалов.

Для эксперимента были разработаны две экспериментальные установки, генерирующие высокое напряжение (10 кВ) и большой ток (300 А), источником ЭМП в каждом случае служил провод, подвешиваемый на разных расстояниях от строительных материалов.

Для оценки экранирующих свойств бетона на столе с крышкой из заземленного листа оцинкованного железа была сложена стенка из восьми тротуарных плиток размерами 120×30×6 см, изготовленных из бетона марки М300.

В ходе измерений антенна-преобразователь прибора ПЗ-50 размещалась в нескольких точках непосредственно за бетонной стенкой (рисунок 1), провод находился над столом на высоте 10 см и размещался на расстоянии 1 см и 10 см от стенки. Результаты измерений представлены в таблице 1 и 2.

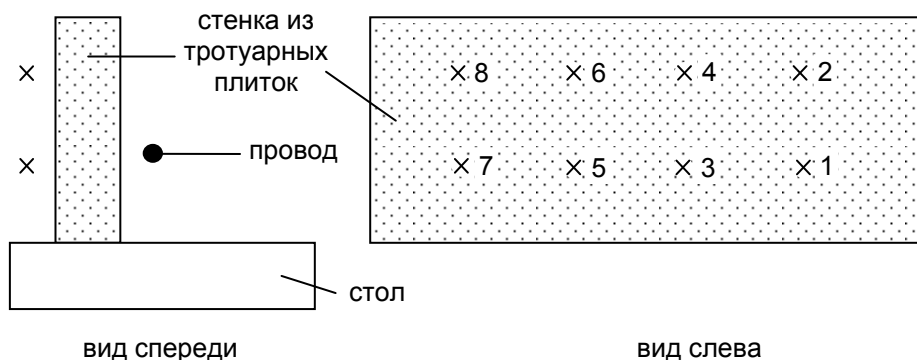


Рисунок 1 – Принципиальная схема проведения эксперимента: 1...8-точки измерения напряженности электрического и магнитного поля

Используя значения начальной напряженности электрического и магнитного поля (при отсутствии бетонной стенки) можно определить эффективность экранирования в каждой точке.

Таблица 1 – Напряженность электрического поля сбоку от провода, кВ/м

Точка измерения	Размещение бетонной стенки на расстоянии 1 см от провода		Размещение бетонной стенки на расстоянии 10 см от провода	
	при отсутствии стенки	при наличии стенки	при отсутствии стенки	при наличии стенки
Точка 1	3,2	0,28	1,5	0,22
Точка 2	2,1	0,29	1,3	0,28
Точка 3	3,9	0,31	1,5	0,29
Точка 4	2,5	0,31	1,6	0,32
Точка 5	3,7	0,22	1,3	0,21
Точка 6	3,0	0,29	1,7	0,27
Точка 7	3,9	0,29	1,5	0,26
Точка 8	3,0	0,33	1,6	0,32

Таблица 2 – Напряженность магнитного поля сбоку от провода, кВ/м

Точка измерения	Размещение бетонной стенки на расстоянии 1 см от провода		Размещение бетонной стенки на расстоянии 10 см от провода	
	при отсутствии стенки	при наличии стенки	при отсутствии стенки	при наличии стенки
Точка 1	17	15,5	8	8
Точка 2	8	5	4,5	4,5
Точка 3	26,5	23	10	9,5
Точка 4	9	6,5	6	6
Точка 5	24	23	8,5	8
Точка 6	9	7,5	8	7
Точка 7	21	20	4,5	4
Точка 8	16	15	7,5	7,5

Вычисляя эффективность экранирования ЭП для наибольшей разности (точка 5, стенка на расстоянии 1 см от провода), получим 24,5 дБ. Для магнитного поля (МП) максимальная эффективность экранирования в точке 2 (стенка на расстоянии 1 см от провода) достигает

4,1 дБ.

Для оценки экранирующих свойств кирпича был проведен аналогичный эксперимент, размеры стенки из двадцати кирпичей составили 120×48×6,4 см, использовался кирпич керамический обыкновенный полнотелый марки М150. Стенка из кирпичей была сложена «в четверть кирпича».

Напряженность ЭП и МП фиксировалась в нескольких точках (рисунок 2) непосредственно за кирпичной стенкой, провод находился над столом на высоте 20 см и размещался на расстоянии 1 см, 10 см и 20 см от стенки. Результаты измерений приведены в таблице 3 и 4.

В случае кирпичной стенки эффективность экранирования ЭП максимальна в точке 2 (стенка на расстоянии 20 см от провода), и составляет 16,4 дБ. Для магнитного поля (МП) наибольшее значение эффективности экранирования – 2,8 дБ в точке 4 (стенка на расстоянии 10 см от провода).

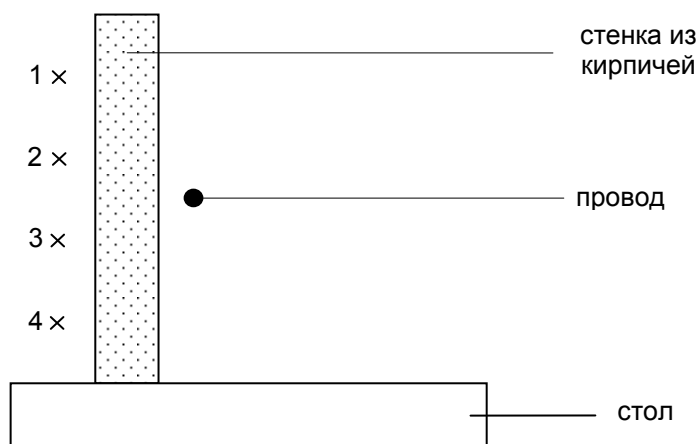


Рисунок 2 – Принципиальная схема проведения эксперимента: 1...4-точки измерения напряженности электрического и магнитного поля

Таблица 3 – Напряженность электрического поля сбоку от провода, кВ/м

Рассматриваемый случай	точка 1	точка 2	точка 3	точка 4
Кирпичная стенка размещена на расстоянии 1 см от провода				
При отсутствии кирпичной стенки	1,8	4	8,3	0,9
При наличии кирпичной стенки	1,1	0,9	0,85	0,25
Кирпичная стенка размещена на расстоянии 10 см от провода				
При отсутствии кирпичной стенки	1,8	3,2	2,4	0,4
При наличии кирпичной стенки	0,65	0,53	0,46	0,12
Кирпичная стенка размещена на расстоянии 20 см от провода				
При отсутствии кирпичной стенки	1,8	2,3	1,5	0,16
При наличии кирпичной стенки	0,38	0,35	0,3	0,11

Таблица 4 – Напряженность магнитного поля сбоку от провода, А/м

Рассматриваемый случай	точка 1	точка 2	точка 3	точка 4
Кирпичная стенка размещена на расстоянии 1 см от провода				
При отсутствии кирпичной стенки	3	21	22	10
При наличии кирпичной стенки	3	20,5	22	8
Кирпичная стенка размещена на расстоянии 10 см от провода				
При отсутствии кирпичной стенки	8	13,5	9	1,8
При наличии кирпичной стенки	6	12	9	1,3

Анализ данных эксперимента по определению экранирующих свойств строительных материалов показывает, что обычный бетон, широко применяющийся в строительстве, может применяться как экранирующий ЭП 50 Гц материал, так как эффективность экранирования бетонной стенкой толщиной 6 см достигает 24,5 дБ (снижение напряженности ЭП почти в 17 раз). Кирпичная стенка толщиной 6,4 см («в четверть кирпича») также обладает заметными экранирующими свойствами по отношению к ЭП – эффективность экранирования максимально составила 16,4 дБ (снижение напряженности ЭП в 6,5 раз). В то же время эффективность экранирования МП как для бетона, так и для кирпича не превысила 4,1 дБ, то есть ослабление напряженности МП в любом случае будет происходить не более чем в 2 раза.

Таким образом, наличие естественной электропроводности будет способствовать увеличению экранирующей способности строительных материалов из бетона и кирпича, использование данных по ослаблению напряженности электрического поля промышленной частоты в практической деятельности позволит значительно более эффективно осуществлять защиту от ЭМП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бернацкий, А.Ф. Электрические свойства бетона / А.Ф. Бернацкий, Ю.В. Целебровский, В.А. Чунчин; под ред. Ю.Н. Вершинина. -М.: Энергия, 1980. -208 с.
- 2 Козловский, В.В. Экранирующие свойства современных материалов / В.В. Козловский, И.И. Софиенко // Вестн. Гос. ун-та информ.-коммуникац. технологий. -2009. -№7 (3). -С. 233-245.
- 3 Тогайбаев, И.У. Расширение спектра электрофизических свойств цементных бетонов / И.У. Тогайбаев, В.Р. Сердюк // Тр. ун-та. КарГТУ. -2003. -№4. -С. 50-53.
- 4 Апполонский, С.М. Расчеты электромагнитных полей: монография / С.М. Апполонский, А.Н. Горский; под ред. А.Н. Горского. -М.: Маршрут, 2006. -992 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экранирование, бетон, кирпич, электрическое поле, магнитное поле

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Коробенков Андрей Дмитриевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»

Коробейников Сергей Миронович, докт. физ.-мат. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.М. Левин, Д.В. Танфильева

OPTIMIZATION OF OPERATIONAL SERVICE OF THE EQUIPMENT OF ELECTRICAL NETWORKS

«Novosibirsk state technical university»

V.M. Levin, D.V. Tanfilieva

The models and methods of account of optimum parameters of management by operational service of the equipment of electrical networks necessary for effective realization of a condition strategy are developed.

Keywords: operational reliability, diagnosing, statistics of emergency switching-off, preventive maintenance, optimization

Разработаны модели и методики расчета оптимальных параметров управления эксплуатационным обслуживанием оборудования электрических сетей, необходимых для эффективной реализации стратегии по состоянию.

Эксплуатация большого количества разнотипного подстанционного оборудования и ЛЭП побуждает сетевую компанию к поиску эффективной стратегии эксплуатации. Такая стратегия, с одной стороны, должна обеспечивать надежность и качество функционирования электросетевого комплекса, а с другой, способствовать максимальной экономии суммарных эксплуатационных затрат.

Как правило, в процессе эксплуатации оборудование подвергается плановым и аварийным отключениям. Плановые отключения предназначены для выполнения диагностических операций и профилактического обслуживания, а аварийные – для восстановления работоспособного состояния отказавшего оборудования.

Как показывает статистика, плановые отключения, не смотря на превосходящую численность и время простоя по сравнению с аварийными, приводят к значительно меньшему недоотпуску электроэнергии потребителям, а, следовательно, меньшим материальным и финансовым потерям, чем последние. Это связано главным образом с возможностью обеспечения потребителей резервными источниками питания.

Одним из способов управления эксплуатацией электрооборудования является целенаправленное сокращение количества аварийных отключений за счет рациональной организации профилактического и диагностического обслуживания [1]. Однако, для обоснованного выбора стратегии обслуживания необходима возможность количественной оценки эффективности управления (повышения надежности, снижения затрат). Такую возможность предоставляют специальные методики и модели, построенные с учетом влияющих факторов и позволяющие рассчитывать оптимальные в смысле поставленной цели (критерия) параметры управления.

Оценка надежности оборудования электрических сетей по статистике аварийных отключений. Контроль и количественная оценка надежности оборудования, как правило, производится с использованием таких показателей, как интенсивность потока отказа $\omega(t)$, вероятность отказа $Q(t)$, функция выработанного ресурса $\Lambda(t) = \int_0^t \omega(t) dt$ [2]. В реальных условиях

эксплуатации подобная оценка может позволить целенаправленно и своевременно воздействовать на случайные потоки событий, уменьшая влияние факторов, вызывающих отказы оборудования.

Для расчета показателей эксплуатационной надежности оборудования электрических сетей применима следующая методика, основанная на вероятностно-статистической обработке данных наблюдений.

1 Определение средней интенсивности отказов электрооборудования на заданном интервале наблюдения

$$\omega_{cp}(t) = \frac{n(t, \Delta t)}{N(t, \Delta t) \cdot \Delta t},$$

где $n(t, \Delta t)$, $N(t, \Delta t)$ – число отказавших элементов и общее число наблюдаемых элементов на интервале времени $[t, t + \Delta t]$ соответственно.

2 Оценка границ (ω_g, ω_n) доверительного интервала, в который попадает среднее значение интенсивности потока отказов для конкретного типа оборудования, например по критерию χ^2 .

3 Построение функции распределения отказов – интеграла от средней интенсивности отказа, по виду которой можно определить ряд свойств, характеризующих старение или приработку наблюдаемых элементов, стационарность или не стационарность потока отказов, статистическую устойчивость или неустойчивость результатов наблюдений

$$\Omega'(t) = \int_0^t \omega_{cp}(t) dt.$$

4 Расчет функции ненадежности (эмпирической вероятности отказов оборудования), которая с принятием гипотезы о подчинении потока отказов закону Пуассона находится по выражению

$$Q'(t) = 1 - \exp[-\Omega'(t)].$$

Данная вероятность отказов является приближенной, поскольку для ее определения используется среднее значение интенсивности отказов.

5 Определение теоретической вероятности отказа

$$Q(t) = 1 - \exp(-\omega t),$$

с использованием допущения о равенстве нулю первого приближения теоретической интенсивности потока отказов (ω). При этом ω находится как результат минимизации ошибки приближения теоретической вероятности отказа к эмпирической.

Статистика аварийных отключений в совокупности с результатами диагностирования оборудования позволяет с одной стороны рассчитать показатели безотказности, выявить тенденции их изменения под влиянием эксплуатационных факторов, а с другой оценить эффективность мероприятий, направленных на их поддержание и восстановление.

На рисунке 1 и 2 изображены результаты обработки статистики аварийных отключений ЛЭП и трансформаторов обследуемой распределительной сетевой компании (РСК). Здесь сплошной ломаной линией показана величина $\omega_{cp}(t)$, а штрихпунктирными соответственно ω_g и ω_n . Сплошная прямая линия является трендом, характеризующим тенденцию изменения интенсивности отказов оборудования РСК по годам эксплуатации. По наклону тренда можно судить о качестве обслуживания оборудования, темпах его старения и способствующих этому причинах.

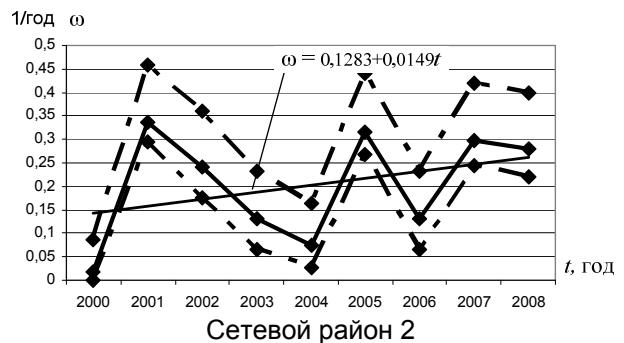
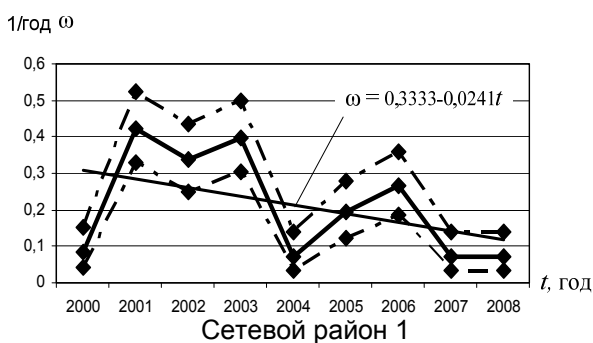


Рисунок 1 – Изменение интенсивности отказов ВЛ-6 кВ по годам эксплуатации

Так, например, в первом сетевом районе (СР-1) наблюдается устойчивая тенденция к снижению аварийности ВЛ-6 кВ и КТП-6/0,4 кВ, в то время как в СР-2 аварийность оборудования повышается. Как показал анализ, одной из причин растущей аварийности оборудования в СР-2 являются неблагоприятные условия, способствующие росту грозовой активности.

Результаты статистической оценки надежности нашли применение в моделях обслуживания оборудования электрических сетей [1] для расчета оптимальных параметров управления.

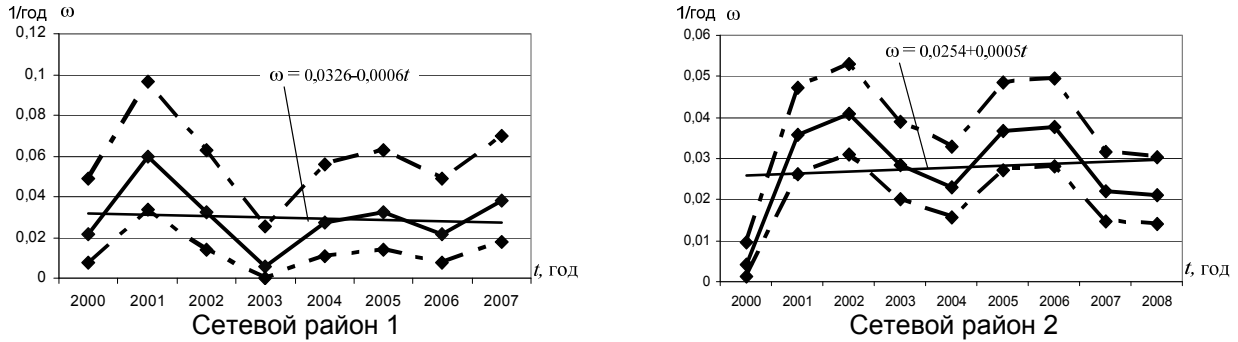


Рисунок 2 – Изменение интенсивности отказов КТП-6/0,4 кВ по годам эксплуатации

Методика расчета оптимальной периодичности профилактик для модели обслуживания по состоянию. Методика, позволяющая рассчитывать оптимальную периодичность профилактик (T_{opt}) для стратегии обслуживания по состоянию при фиксированной периодичности диагностирования (τ), основана на использовании разработанной в [1] математической модели обслуживания. Пусть ΔT - рассматриваемый интервал эксплуатации, например 10 лет, а τ - заданная нормативная периодичность диагностирования оборудования. Тогда зависимость изменения вероятности работоспособного состояния объекта от текущего времени $P_1(t)$ примет вид

$$P_1(t) = \left\{ 1 + t^{-1} [T_d + q_2(t) \cdot T_{по} + q_3(t) \cdot T_{ав}] + \omega(t) \cdot T_{ав} \right\}^{-1},$$

где $T_d, T_{по}, T_{ав}$ – продолжительности диагностирования, профилактического и аварийного ремонтов;

$q_2(t), q_3(t)$ – вероятности исходов диагностирования оборудования.

Оптимальная периодичность профилактик (T_{opt}) определяется из условия $dP_1(t)/dt = 0$. После этого необходима проверка ограничений на полученное значение T_{opt} с учетом оценки состояния оборудования по одному из следующих условий. Если $T_{opt} \leq \tau$, то состояние объекта оценивается как «критическое» и рекомендуется проводить профилактику после очередного диагностирования, то есть принять $T_{opt} = \tau$; если $T_{opt} > \tau$, состояние «исправное», профилактику рекомендуется проводить в плановые сроки в конце интервала наблюдения, то есть $T_{opt} = \Delta T$; если $\tau \leq T_{opt} \leq \Delta T$, прогнозируется состояние «скрытого дефекта» и рекомендуется проводить профилактику по графику диагностирования с периодичностью T_{opt} .

Далее рассчитываются значения частот аварийных и плановых отключений объекта, соответствующие полученной оптимальной периодичности профилактик $\bar{\omega}_n(T_{opt}), \bar{\omega}_n'(T_{opt})$. По найденным значениям частот определяется количество аварийных и плановых отключений на интервале эксплуатации. В заключении вычисляются суммарные затраты (3) на поддержание и восстановление работоспособности оборудования.

В качестве иллюстрации практического применения разработанной методики на рисунок 3 и 4 приведен расчет оптимальной по надежности периодичности профилактик для трансформатора ТМН-6300/35 кВ. Количество аварийных и плановых отключений на рассматриваемом интервале эксплуатации 10 лет при $\omega_d = 0,5 \text{ год}^{-1}$ соответственно равно 0,45 и 3,3. На рисунке 5 показаны зависимости оптимальной периодичности профилактик трансформатора при вариации интенсивности обнаружения дефектов ($\omega_d = 0,1-0,7 \text{ год}^{-1}$) с периодичностью диагностирования $\tau = 0,5$ года для различных критериев оптимальности обслуживания. Полученные зависимости формируют область принятия решений по выбору опти-

мальной периодичности профилактического обслуживания, ограниченную двумя критериальными кривыми, причем нижнюю границу области формируют оценки T_{opt} , полученные по критерию максимальной надежности, а верхнюю – по критерию максимальной экономичности. Интервал между верхней и нижней границами области зависит от соотношения стоимостей профилактического и аварийного ремонтов ($C_{ПО}, C_{AB}$) и сокращается с ростом интенсивности обнаружения дефектов в трансформаторе. Для рассматриваемого примера суммарные затраты на обслуживание при $C_{AB}/C_{ПО} = 5$ составляют $З(T_{opt}) = 26350$ рублей.

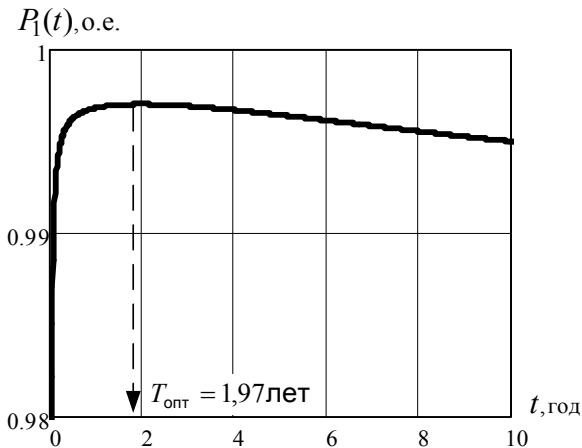


Рисунок 3 – Оптимальная по надежности периодичность профилактик трансформатора

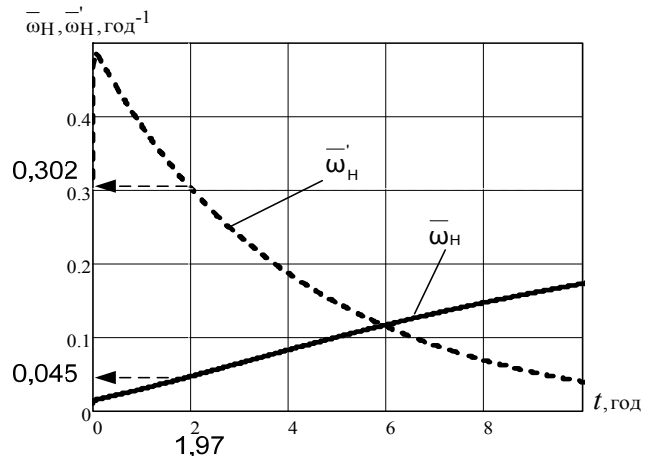


Рисунок 4 – Частоты аварийных и плановых отключений трансформатора для оптимальной периодичности профилактик

Выводы:

1 Количественная оценка эффективности эксплуатационного обслуживания оборудования электрических сетей возможна на основе разработки специальных моделей и методик, построенных с учетом влияющих факторов и позволяющих рассчитывать оптимальные в смысле поставленной цели (критерия) параметры управления.

2 Предложенные в работе модели и методики, основанные на использовании реальной статистики аварийных отключений и результатов диагностирования, нашли практическое применение для проверки обоснованности стратегии эксплуатационного обслуживания отдельных типов оборудования РСК.

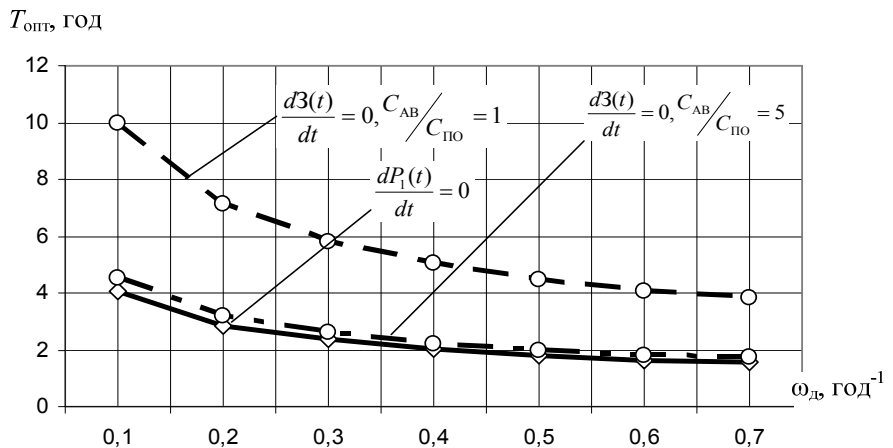


Рисунок 5 – Область принятия решений по выбору оптимальной периодичности профилактик ТМН-6300/35 кВ в зависимости от интенсивности обнаружения дефектов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Левин, В.М. Моделирование показателей надежности для оценки эффективности эксплуатации оборудования электрических сетей / В.М. Левин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, -2010, №2, -С. 29-32.
 2 Рябинин, И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем / И.А. Рябинин. -Л.: Судостроение, 1971. -456 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эксплуатационная надежность, диагностирование, статистика аварийных отключений, профилактическое обслуживание, оптимизация
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Левин Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 Танфильева Дарья Васильевна, инженер ФГБОУ ВПО «НГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЕЗДАТЧИКОВЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНИЗМА ТРАНСПОРТИРОВКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

К.С. Афанасьев, А.С. Глазырин, В.И. Полищук, В.В. Тимошкин

FUZZY CONTROL IN SENSORLESS ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE OF TRANSPORT MECHANISM FOR MATERIALS

«National research Tomsk polytechnic university»

K.S. Afanasiev, A.S. Glazyrin, V.I. Polishchok, V.V. Timoshkin

The application of the Luenberger observer to create sensorless electric drive of transporter. It is proved that the elimination of frictional self-oscillations of a mechanical system can be achieved through the application of fuzzy control.

Keywords: fuzzy logic, asynchronous electric drive, Luenberger observer

Обосновано применение наблюдателя Люенбергера для создания бездатчикового электропривода конвейера. Доказано, что устранения фрикционных автоколебаний механической системы можно добиться путем применения нечеткого регулятора скорости двигателя.

В механике широко известно явление фрикционных автоколебаний, возникающих при проскальзывании, существенно ухудшающие технологические и технико-экономические показатели, а также снижающие надежность работы машин и механизмов вплоть до поломки кинематических звеньев. При этом коэффициент трения нелинейно зависит от скорости проскальзывания. В этой зависимости имеется так называемый «падающий участок», на котором увеличение скорости проскальзывания сопровождается снижением коэффициента трения. Источником указанных фрикционных автоколебаний является динамическая неустойчивость электромеханической системы с нагрузкой, содержащей «падающий участок», при работе на данном участке [1].

В данной работе объектом исследования является спирально-винтовой конвейер ES9, предназначенный для транспортирования зерна, продуктов его переработки или других сыпучих материалов. Конструктивная схема конвейера представлена на рисунке 1.

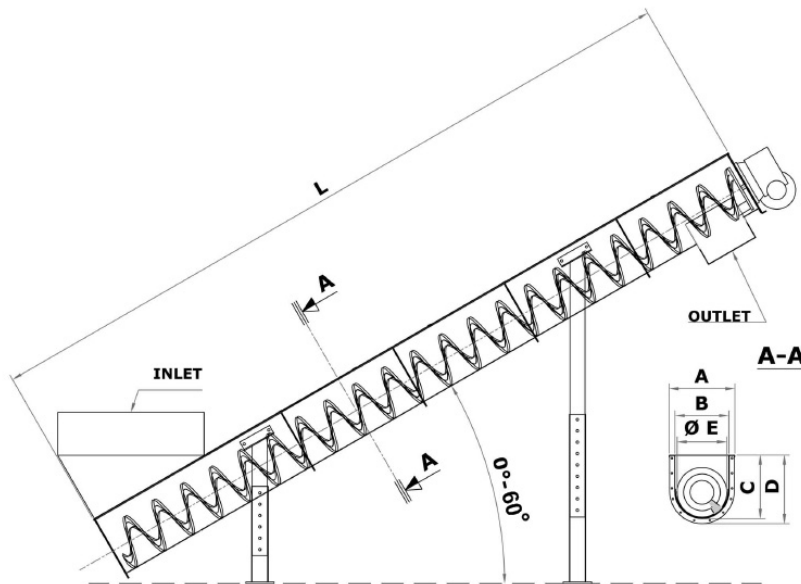


Рисунок 1 – Конструктивная схема спирально-винтового конвейера

Принцип действия конвейера основывается на использовании вращающегося винта (шнека), спиральная часть которого, способна перемещать материал, расположенный в полостях между корпусом и винтовым пером шнека. Такая технологическая схема обладает компактностью и имеет высокий коэффициентом полезного действия, что делает шнеки экономичным оборудованием. Технические характеристики конвейера ES9:

- Производительность, т/ч 200;
- Диаметр винта, мм 500;

- Длина транспортирования, м..... 30;
- Высота подъёма, м..... 3;
- Момент нагрузки, Н м..... 220.

Наличие «падающего участка» (интервал АВ на рисунке 2) в механической характеристике конвейера обусловлено скольжением сыпучего груза по наклонной плоскости механизма. Зависимость изменения нагрузки от скорости вращения вала двигателя представлена на рисунке 2.

Целью данной работы является имитационное моделирование процессов в бездатчиковом асинхронном электроприводе с классическим и нечетким регуляторами скорости вала двигателя для выявления наиболее оптимального способа управления спирально-винтовым конвейером.

Для исследования динамических режимов работы электропривода спирально-винтового конвейера в программной среде MATLAB Simulink была создана имитационная модель асинхронного электропривода на базе двигателя типа 6A250S6Y3 (номинальная мощность 45 кВт; синхронная скорость вращения 1000 об/мин). Мощность асинхронного электродвигателя (АД) была рассчитана с учетом производительности и геометрических параметров шнека. Смоделированный блок момента нагрузки, действующего на двигатель, воспроизводит зависимость рисунка 2.

Система векторного управления включала в себя четыре контура регулирования координат электропривода – два внешних (скорости вала и потокосцепления ротора) и два внутренних контура проекций тока статора на оси вращающейся системы координат. Структура всех четырех регуляторов принята пропорционально-интегральной (ПИ). В созданной модели было учтено ограничение выходных сигналов регуляторов.

При этом сигналы обратных связей снимались с выхода идентификатора состояния двигателя на базе наблюдателя Люенбергера, который рассчитывал необходимые переменные состояния на основании статорных токов и напряжений двухфазной модели АД. Косвенное измерение координат электропривода обусловлено тем, что установка датчика скорости в данном механизме является затруднительной, так как конец вала спирально-винтовой поверхности находится на значительном расстоянии от приводной станции, а использование датчиков Холла для измерения потокосцепления ротора двигателя подразумевает дополнительное вмешательство в конструкцию АД.

Переходные процессы момента и скорости бездатчикового электропривода с классическим ПИ-регулятором скорости при пуске, набросе и сбросе нагрузки представлены на рисунках 3 и 4.

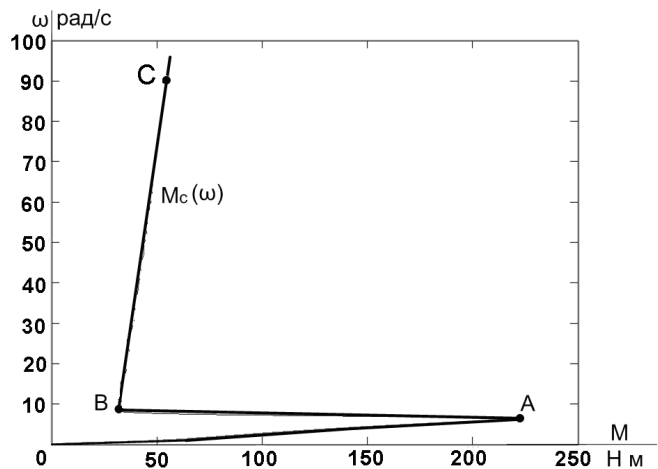


Рисунок 2 – Зависимость изменения нагрузки от скорости вращения вала двигателя

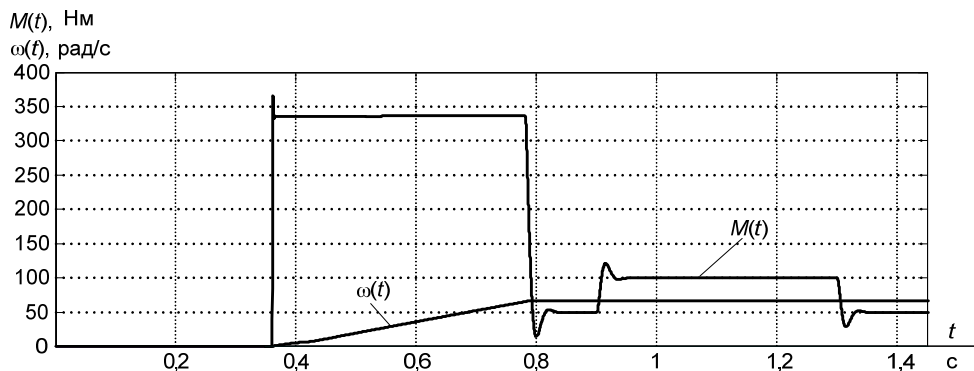


Рисунок 3 – Переходные процессы момента и скорости бездатчикового электропривода с классическим ПИ-регулятором скорости при работе на участке ВС механической характеристики конвейера

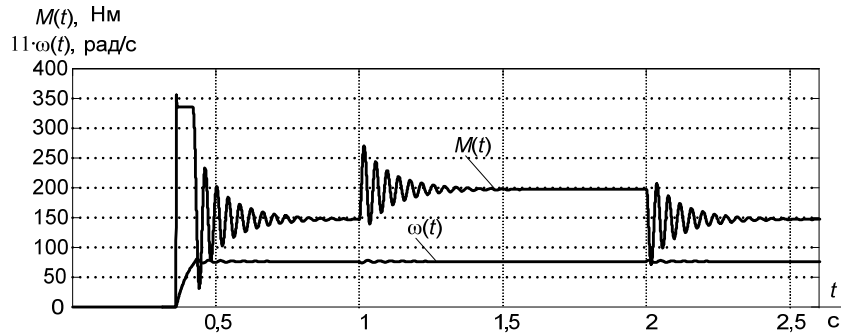


Рисунок 4 – Переходные процессы момента и скорости бездатчикового электропривода с классическим ПИ-регулятором скорости при работе на «падающем участке» АВ механической характеристики конвейера

Как видно из полученных графиков, при работе электропривода на участке механической характеристики нагрузки с отрицательным коэффициентом трения (рисунок 4) в переходных режимах работы электромеханической системы наблюдаются сильные колебания момента и скорости двигателя, что может негативно сказаться на кинематике механизма. Устойчивая работа созданной имитационной модели также говорит о возможности применения наблюдателя Люенбергера для создания бездатчиковой системы управления.

Одним из способов устранения колебаний в механической части электропривода является применение регулятора скорости на базе нечеткой логики. Нечеткий регулятор состоит из набора условных лингвистических операторов, задающих конкретные ситуации управления. Эти условные лингвистические операторы могут быть легко получены из соображений здравого смысла или технических сведений о процессе, которым требуется управлять. В нашем случае предполагаем использование семи термов при фаззификации входных переменных нечеткого регулятора [2].

Переходные процессы момента и скорости бездатчикового электропривода с нечетким регулятором скорости при пуске, набросе и сбросе нагрузки представлены на рисунках 5 и 6. Нечеткий регулятор создан на базе блока «Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer» программной среды MATLAB Simulink.

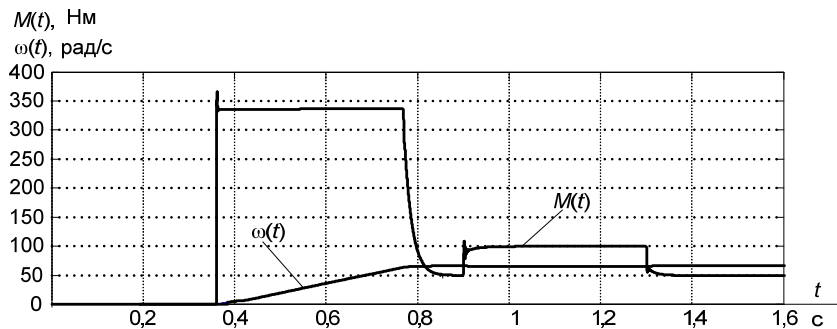


Рисунок 5 – Переходные процессы момента и скорости бездатчикового электропривода с нечетким регулятором скорости при работе на участке ВС механической характеристики конвейера

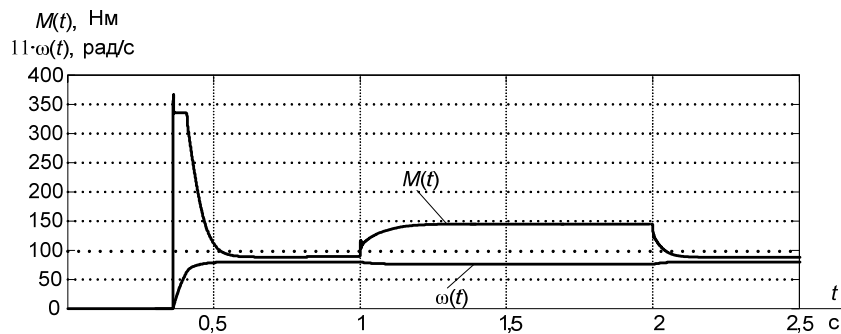


Рисунок 6 – Переходные процессы момента и скорости бездатчикового электропривода с нечетким регулятором скорости при работе на «падающем участке» АВ механической характеристики конвейера

Главным результатом применения нечеткого регулятора скорости в бездатчиковом электроприводе конвейера стало устранение колебаний скорости и момента при работе электропривода на участке механической характеристики нагрузки с отрицательным коэффициентом трения. Одновременно при набросе нагрузки наблюдается статическая ошибка по возмущению $\Delta\omega = 0,15$ рад/с при нахождении рабочей точки на участке ВС характеристики шнека (рисунок 5) и $\Delta\omega = 0,36$ рад/с в случае работы на «падающем участке» механической характеристики нагрузки (рисунок 6). Так как статическая ошибка не превышает 1% от установившегося значения скорости, можно считать применение нечеткого регулятора допустимым в системе управления бездатчикового электропривода спирально-винтового конвейера.

Выводы.

1 Применение наблюдателя Люенбергера адекватно для организации бездатчикового управления векторным асинхронным электроприводом спирально-винтового конвейера.

2 Замена классического ПИ-регулятора скорости на нечеткий позволяет устранить колебания в механической системе электропривода, возникающие при работе механизма на участке характеристики нагрузки с отрицательным коэффициентом трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Клепиков, В.Б. Определение границ устойчивости электроприводов с вязким трением с учетом упругости кинематической цепи / В.Б. Клепиков // Электричество. -1989. -№1. -С. 36-41.
- 2 Динамика электропривода с нечетким регулятором / С.В. Ланграф [и др.] // Изв. Томск. политехн. ун-та. -2010. -№4. -С. 168-173.
- 3 Разработка и исследование нейросетевого регулятора для электропривода с механической нагрузкой типа «пара трения» / С.В. Ланграф [и др.] // Докл. Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. -2011. -№1. -С. 171-177.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нечеткая логика, асинхронный электропривод, наблюдатель Люенбергера
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Афанасьев Кирилл Сергеевич, аспирант, ГОУ ВПО «НИ ТПУ»
Глазырин Александр Савельевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НИ ТПУ»
Полищук Владимир Иосифович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НИ ТПУ»
Тимошкин Вадим Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «НИ ТПУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ГОУ ВПО «НИ ТПУ»

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЛОЕВ ГРУНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Инновационный Евразийский университет

Н.М. Зайцева

THE METHOD OF DETERMINATION OF ELECTRICAL RESISTIVITY THE STRATUM OF SOIL DEPENDING ON CLIMATIC CONDITIONS
«Innovation Euroasien university»
N.M. Zaitseva

The method of determining of electrical resistivity of soil at its stratification depth depending on the climatic conditions using fuzzy-set theory is proposed.

Keywords: specific resistance, soil, stratification depth, temperature, humidity, indistinct logic

Предлагается методика определения удельного электрического сопротивления грунта на глубине его залегания в зависимости от климатических условий с использованием нечеткой логики.

Условия работы заземляющих устройств определяются, главным образом, удельным электрическим сопротивлением земли ρ и электрическими параметрами заземляющих элементов.

При проектировании заземлений рекомендуется брать ρ , измеренное, как правило, в летнее время и умноженное на поправочные коэффициенты, которые должны учитывать наихудшие климатические условия [1]. Известны формулы [2, 3], по которым можно рассчитывать ρ , однако многочисленные эксперименты показывают, что результаты расчетов по ним, как и по рекомендациям ПУЭ, весьма приблизительны и составляют расхождение с нашими экспериментальными данными до 60% [4]. В связи с этим актуален поиск моделей расчета ρ , включающий основные факторы, определяющие его величину, а именно: температуру, влажность грунта с учетом реальных климатических условий.

Такая работа была проведена, и были построены искомые зависимости на основе применения теории нечетких множеств и регрессионного моделирования и разработана методика определения ρ . Методика включает в себя три последовательных этапа. Первый и второй этапы имеют целью определение влажности и температуры грунта в зависимости от климатических условий, времени года, глубины его залегания. Третий этап – непосредственно расчет ρ с учетом ранее определенных параметров.

Первый этап. На глубинах до одного метра (поверхностный слой) влажность грунта сильно зависит от погодных условий и претерпевает серьезные изменения, связанные с выпадениями осадков, температурой воздуха и ветровой деятельностью. Поэтому была разработана модель для слоя сезонных изменений (называемого активным), учитывающая эти факторы. Для слоев, расположенных ниже активного, влияние погодных условий на влажность грунта гораздо менее заметно, здесь большее влияние оказывает наличие грунтовых вод, поэтому для этих слоев предлагается модель с учетом близости грунтовых вод.

Модель определения влажности на глубинах до одного метра. Для грунтов, расположенных в зоне сильного влияния погодных условий, то есть до 1 м предлагается многофакторная модель, построенная на усредненных данных метеоцентра: количество осадков, температура на поверхности земли и средняя скорость ветра. Для засушливых зон и зон слабого весеннего промачивания эта зависимость выглядит так

$$v_{100} = -4,10 + 0,03 \cdot o_c - 0,007 \cdot t + 1,3 \cdot v_e, \quad (1)$$

где v_{100} – влажность на глубине один метр от поверхности земли;

o_c – количество осадков в расчетном месяце, мм;

t – средняя температура на поверхности грунта, °С;

v_e – средняя скорость ветра в расчетном месяце, м/с.

Оценка модели и определения процента разброса функции v относительно ее среднего значения в зависимости от o_c , t и v_e была выполнена с помощью коэффициента детерминированности по формуле $B_{yx} = r^2 = 0,97$, что позволяет судить об адекватности полученной модели.

Для нахождения влажности в любое время года добавлено нечеткое понятие [4] «накопление влаги». В зимние месяцы влажность не изменяется, так как осадки накапливаются в виде снега и льда на поверхности земли и не проникают вглубь. В первый временной интервал моделирования входят месяцы, когда температура воздуха устойчиво держится ниже нуля градусов Цельсия (для нашей климатической зоны с ноября по февраль), во второй – март (месяц активного снеготаяния), а в третий – с апреля по октябрь. Семейство функций принадлежности представлены на рисунке, где $\mu_1(m) = 1$ и $\mu_2(m) = 0$ с ноября по февраль, а с апреля по октябрь – $\mu_1(m) = 0$; $\mu_2(m) = 1$. Интервал переключения – март подекадно. Они в этом интервале равны

$$\mu_1(m) = \exp[-3(d-1)^2]; \quad \mu_2(m) = 1 - \exp[-3(d-1)^2],$$

где d – номер декады в марте.

В результате зависимость определения влажности по месяцам выглядит следующим образом

$$v = v_{100}^{зума} \cdot \mu_1(m) + v_{100} \cdot \mu_2(m), \quad (2)$$

где $v_{100}^{зума}$ – влажность, рассчитанная по (1) по метеоданным последнего осеннего месяца, так как влажность грунта не изменяется в зимние месяцы.

При этом в марте месяце (месяце активного снеготаяния) количество осадков рассчитывается его суммированием за месяцы с ноября по март, накопленного в виде снежного покрова.

Адекватность модели доказана по критерию Фишера $F_{эж}$, то есть оценивается степень отклонения v , вычисленной по модели, от данных метеоцентра: $F_{эж} = 3,05$, ниже табличного

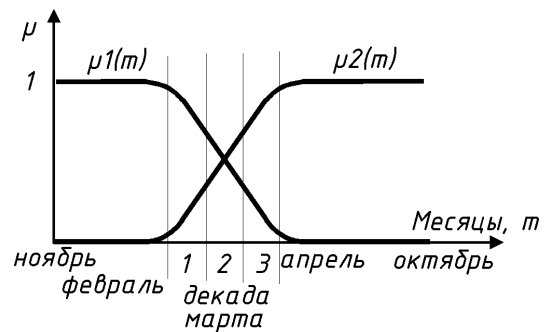


Рисунок – Семейство функций принадлежности для определения влажности по месяцам

значения 3,10 ($\alpha = 0,05$).

Модель определения влажности на глубинах ниже одного метра. Влажность грунтов, расположенных ниже 1 м, практически не зависит от погодных условий, а меняется в зависимости от уровня грунтовых вод, и, следовательно, для построения модели необходимо учитывать их близость. Для этого используется высота капиллярного поднятия (водоподъемная способность) [5]: для песка – 0,5 м, для супеси – 1 м, для глины – 2,5 м. Причем высота и скорость подъема зависят от структуры грунта. В песчаных грунтах вода поднимается невысоко, но достаточно быстро (1-5 дней), в глинистых – медленно (5-14 дней). Для этого используется нечеткая логика [4], где за нечеткое понятие взята лингвистическая переменная «близость грунтовых вод». Первый интервал, характеризуемый понятием «рядом»: $0 \leq h < h_{кп}$ м, второй интервал – «далеко»: $h \geq h_{кп}$ м. Функции принадлежности $\mu_1(h)$ и $\mu_2(h)$ имеют вид:

$$\mu_1'(h) = \begin{cases} 1, & 0 \leq h < 0,8h_{кп} \\ 1 - \frac{h - 0,8h_{кп}}{0,2h_{кп}}, & 0,8h_{кп} \leq h < h_{кп} \\ 0, & h \geq h_{кп} \end{cases}; \mu_2'(h) = \begin{cases} 0, & 0 \leq h < 0,8h_{кп} \\ \frac{h - 0,8h_{кп}}{0,2h_{кп}}, & 0,8h_{кп} \leq h < h_{кп} \\ 1, & h \geq h_{кп} \end{cases}, \quad (3)$$

где h – расстояние от уровня грунтовых вод, м;

$h_{кп}$ – высота капиллярного поднятия, область переключения между функциями – $0,2h_{кп}$, м.

Форма функций принадлежности в данном случае имеет вид сходный с функциями, изображенными на рисунке 1. В результате влажность грунта определяется по формулам:

$$\begin{aligned} V_{песок} &= (18 - 0,27h) \mu_1'(h) + 4,5 \mu_2'(h); \\ V_{супесь} &= (23 - 0,193h) \mu_1'(h) + 3,5 \mu_2'(h); \\ V_{глина} &= (50 - 0,128h) \mu_1'(h) + 18 \mu_2'(h), \end{aligned} \quad (4)$$

где коэффициенты 18; 23; 50 – это максимальная влагоемкость грунтов песка, супеси и глины, соответственно, а коэффициенты 4,5; 3,5 и 18 – влажность естественного залегания тех же грунтов. Для влагонасыщенного грунта, например песка процентное содержание влаги в нем может быть и 25%.

Адекватность модели подтверждается с помощью критерия Фишера, который равен 2,63 для сухого грунта и 0,87 для влажного, что ниже табличного 3,26 ($\alpha = 0,05$). Таким образом, зная количество слоев, их вид и глубину залегания грунтовых вод, по формуле (4) можно определить влажность грунта в любое время года на глубине ниже одного метра.

Второй этап. Определение температуры грунта на интересующей исследователя глубине. Моделирование температуры грунта выполнено на основе данных о годовом колебании температуры поверхности земли. К распространению тепла в грунте применима общая теория молекулярной теплопроводности [5]: период колебания температуры для всех типов грунта с глубиной не изменяется, то есть равен в суточном ходе 24 ч, а в годовом – 12 месяцам. Годовые колебания температуры распространяются в глубину с уменьшением амплитуды, причем t убывает до нуля на глубине 15-20 м. в средних широтах, а дальше идет слой с постоянной температурой. Годовые максимумы и минимумы запаздывают на каждый метр на 20-30 суток, и это запаздывание прямо пропорционально глубине. Анализируя данные [5] по г. Калининграду и Павловску и данные метеоцентра за 2005-2009 гг. Павлодарской области, было замечено, что все зависимости близки к синусоиде. Аппроксимировав их, была получена следующая формула для нахождения t грунта на любой глубине

$$T = 8 - A_n \cdot q^h \sin \left\{ \frac{\pi [365 - 4(x - 20h)]}{730} \right\}, \quad (5)$$

где x – дни, коэффициент «20» – учитывает запаздывание максимума (минимума) годового колебания температуры [5] на 1 м глубины относительно температуры поверхности грунта;

A_n – амплитуда колебания температуры поверхности грунта (относительно слоя постоянной годовой температуры, которая равна 8 °С для средних широт) на требуемой глубине;

q – характеризует убывание температуры в глубь грунта;

h – расстояние от поверхности грунта, м, при условии $h = 15$ м (глубина постоянной

годовой температуры для средних широт)

$$q = \exp\left[\frac{\ln(A_{\text{гг}}/A_{\text{г}})}{h}\right];$$

$A_{\text{гг}}$ – амплитуда колебания температуры на глубинах с постоянной годовой температурой, приблизительно $A_{\text{гг}} \approx 0,1$ °С.

Значение амплитуды колебания температуры поверхности грунта

$$A_{\text{г}} = \frac{T_{\text{ггmax}} - T_{\text{ггmin}}}{2},$$

где $T_{\text{ггmax}}$, $T_{\text{ггmin}}$ – максимальная и минимальная среднемесячная температуры поверхности грунта за год для данной местности.

Расхождение смоделированных значений с данными, представленными метеоцентром для верхних слоев (0,1-0,3 м) составляет не более 3 °С, а на глубине 7 м ошибка моделирования – менее 0,8 °С.

Третий этап. Непосредственно определение удельного электрического сопротивления. Расчет сопротивления ρ влагосодержащего грунта в зависимости от температуры проводится по формуле [2] (применима только для положительных температур)

$$\rho = \rho_{20} \exp[-0,022(t - 20)] \quad (6)$$

где ρ_{20} – удельное сопротивление при температуре 20 °С;

t – температура грунта.

Определение этой величины ρ выполняется на основе нечеткой логики [5]. Так как на интервале влажности от 0 до 2% характер изменения $\rho(v)$ резко отличается от характера изменения ρ на интервале от 6% и до насыщения грунта влагой: на интервале 0-2% сильнее сказываются свойства электропроводности данного вида грунта, а при увеличении влажности удельное сопротивление уже больше зависит от содержащейся в грунте воды, то модель выполнена на основе двух нечетких интервалов: первый интервал – $0 \leq v < 2$ (влажность грунта v в процентах), – второй интервал $v > 6$, область переключения $2 \leq v \leq 6$, функции принадлежности $\mu_i(v)$

$$\mu_1 = \begin{cases} 1, & 0 \leq v < 2 \\ \exp[-0,8(v-2)^2], & 2 \leq v \leq 6 \\ 0, & v > 6 \end{cases}; \mu_2 = \begin{cases} 0, & 0 \leq v < 2 \\ 1 - \exp[-0,8(v-2)^2], & 2 \leq v \leq 6 \\ 1, & v > 6 \end{cases} \quad (7)$$

причем, уравнения удельного сопротивления для песка ρ_n , супеси, ρ_c и глины $\rho_{\text{гл}}$ определяются по формулам (v – влажность грунта в процентах):

$$\begin{aligned} \rho_n &= 6,8 \cdot 0,39^v \cdot \mu_1(v) + 1,5 \cdot 0,89^v \cdot \mu_2(v); \\ \rho_c &= 95,6 \cdot 0,1^v \cdot \mu_1(v) + 0,3 \cdot 0,8^v \cdot \mu_2(v); \\ \rho_{\text{гл}} &= 116 \cdot 0,3^v \cdot \mu_1(v) + 19 \cdot 0,73^v \cdot \mu_2(v). \end{aligned} \quad (8)$$

Числа 2 и 6 в формуле (7) – интервал на оси «влажность» (в процентах), определенный приблизительно. Параметры первой функции $\eta_1(x)$ были вычислены по экспериментальным данным при изменении влажности в интервале от 0% до 3%, то есть от сухого до слегка увлажненного состояния, а параметры второй функции $\eta_2(x)$ – в интервале от 3% до насыщения грунта водой.

При отрицательных температурах формула (6) не применима. В этом случае предлагаются зависимости, построенные на основе регрессионного моделирования. У влагосодержащих грунтов, имеющих кристаллическую структуру, в районе от 0 °С до (-1) °С происходит скачкообразное увеличение ρ , которое для песка и супеси может быть вычислено по следующим формулам:

$$\rho_{n1} = \rho_{n0}(-343v^2 + 85v - 1,9); \rho_{c1} = \rho_{c0}(236v^2 - 2,2v + 1,2), \quad (9)$$

где ρ_{n0} , ρ_{c0} , $\rho_{\text{гл}0}$ – удельные сопротивления песка, супеси и глины при 0 °С;

ρ_{n1} , ρ_{c1} – влажность при (-1) °С, в долях.

Для глин скачкообразного увеличения удельного сопротивления при 0 °С не происходит, так как увлажненные глины представляют собой аморфную структуру в отличие от песка и

супеси, и рост ρ с уменьшением температуры происходит плавно.

Дальнейшее изменение температуры от (-1) °С до (-20) °С ведет к увеличению ρ по следующим зависимостям, полученным, как и (9), в результате обработки экспериментальных данных:

$$\rho_n = \rho_{n1} 0,87^{(t+1)}; \rho_c = \rho_{c1} 0,88^{(t+1)}; \rho_{эл} = \rho_{эл0} 0,88^{(t+1)}. \quad (10)$$

Выводы. Разработана методика, позволяющая определять значение удельного электрического сопротивления грунта в зависимости от климатических условий и глубины его залегания в любой период года.

Предложенные модели нахождения влажности и температуры слоев грунта на интересующей исследователя глубине позволяют вычислить эти параметры слоя грунта с достаточной степенью точности, не производя дорогостоящих измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. -М.:РАО «ЕЭС России», 1999.
- 2 Карякин, Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок: Справочник / Р.Н. Карякин. -М.: ЗАО «Энергосервис», 2002.
- 3 Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. заведений / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин, В.А. Яшков. -М.: Высш. шк., 2001.
- 4 Зайцева, Н.М. Зависимости удельного электрического сопротивления грунта от влажности и температуры / Н.М. Зайцева, Д.С. Зайцев, М.Я. Клецель // Электричество. 2008. №9.
- 5 Лосев, А.П. Агрометеорология / А.П. Лосев, Л.Л. Журина. -М.: КолосС, 2004.
- 6 Зайцева, Н.М. Расчет удельного сопротивления грунта с учетом колебаний его температуры / Н.М. Зайцева, Б.Б. Исабекова, М.Я. Клецель // Научн. проблемы трансп. Сиб. и Дальн. Вост. 2010. №1

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *удельное сопротивление, грунт, глубина залегания, температура, влажность, нечеткая логика*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Зайцева Наталья Михайловна, канд. техн. наук, доцент ИНЕУ*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *140003, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 45, ИНЕУ*

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В УСЛОВИЯХ СИЛЬНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Р.Ю. Ткачук, А.С. Глазырин, В.И. Полищук, Т.А. Глазырина,
В.В. Тимошкин, Л.Е. Козлова**

NEURAL NETWORK IDENTIFICATION AND DIAGNOSIS OF ELECTRICAL MACHINES IN A STRONG IMPULSE NOISE
«National research Tomsk polytechnic university»

R.Yu. Tkachuk, A.S. Glazyrin, V.I. Polishchok, T.A. Glazyrina, V.V. Timoshkin, L.E. Kozlova

Results obtained confirm the possibility of using neural networks for identification and diagnostic parameters of electric machines in the presence of strong impulse noise in the measuring system. The structure of the neural network and method of preparing the training set for her education.

Keywords: artificial neural network, identification, diagnostics, electrical machine

Получены результаты подтверждающие возможность использования нейронных сетей для идентификации и диагностики параметров электрических машин в условиях наличия сильных импульсных помех в измерительной системе. Предложена структура нейронной сети и способ подготовки тренировочного набора для ее обучения.

Автоматизированные системы управления и диагностики электрических машин довольно уязвимы при работе в условиях реального промышленного предприятия. Различного рода импульсные помехи могут привести к появлению нежелательных сигналов от датчиков, в цепях связи и непосредственно в аппаратуре управления. Источниками импульсных помех в сетях является: включение или отключение потребителей энергии (электродвигатели, лампы накаливания и дневного света, компьютеры и др. аппаратура); включение и отключение цепей с большой индуктивностью (трансформаторы, пускатели и т.д.); аварийные короткие замыкания в сети и их последующее отключение защитными устройствами; включение и отключение электросварочных установок; источником импульсных помех является городской электрифицированный транспорт, включая метро, а также электрифицированные железные

дороги.

Импульсная помеха может быть усилена системой управления и обратной связью, что может привести к некорректной работе или отказу работы аппаратуры управления. Наиболее эффективным способом обеспечения надежной работы современных автоматизированных систем управления и диагностики является введение интеллектуального отказоустойчивого управления (fault tolerant control (FTC)) [1]. Структура FTC показана на рисунке 1. В FTC объединены принципы управления, диагностики и возможность построения системы ресурсосберегающей эксплуатации при наличии некритических дефектов в ЭМ.

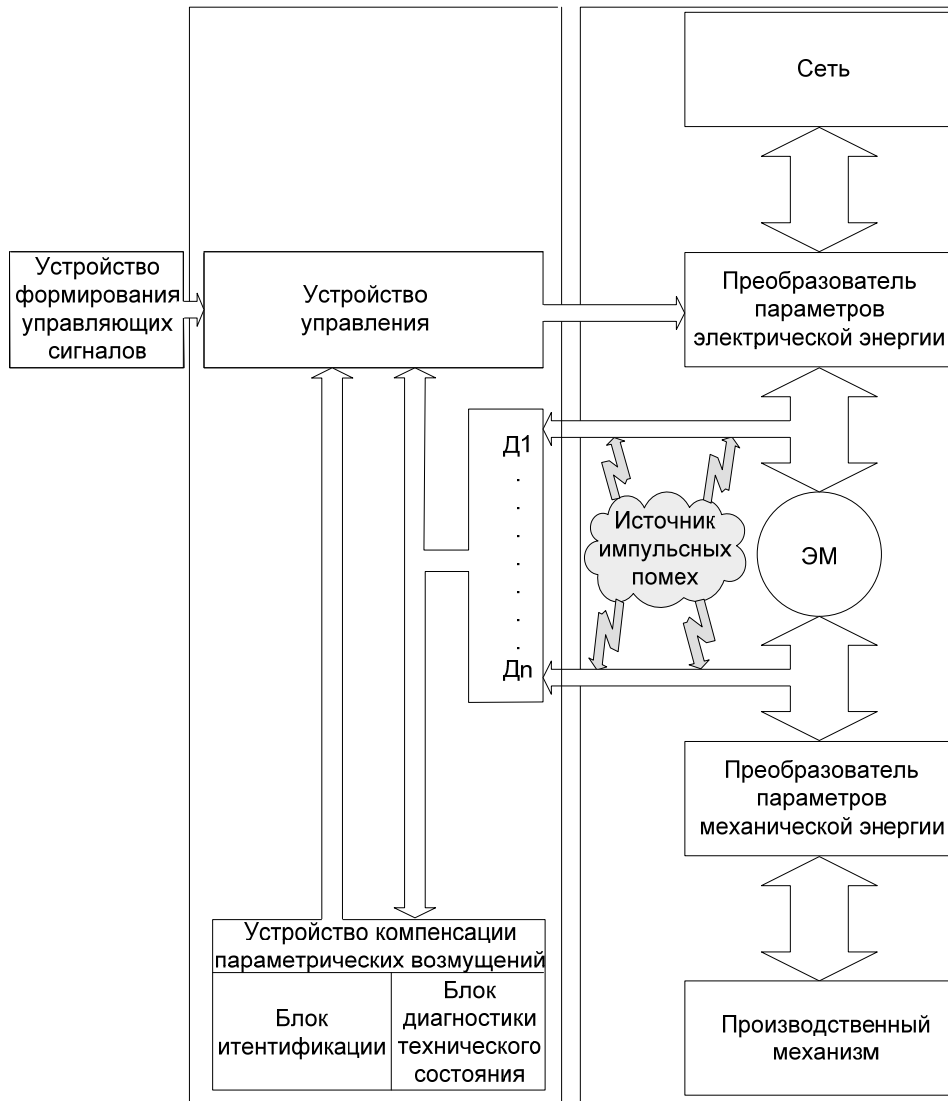


Рисунок 1 – Структурная схема FTC

Одним из способов идентификации параметров электрических машин переменного тока является применение искусственных нейронных сетей [2]. Благодаря своим аппроксимирующим свойствам, искусственные нейронные сети позволяют проводить идентификацию на основе зашумленных данных с наличием сильных импульсных помех.

Целью исследования являлась оценка чувствительности нейросетевой идентификационной модели к импульсным помехам в обучающей выборке и входных сигналах.

Нейросетевая идентификация частоты вращения вала асинхронного двигателя. Для анализа влияния импульсных помех на нейросетевую идентификацию проводилось исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Экспериментальная установка включала сочлененные между собой и установленные на едином основании машину постоянного тока, машину переменного тока, маховик и преобразователь угловых перемещений. Для сбора и записи сигналов датчиков использовалась плата сбора данных PCI-6024E фирмы National Instruments. Для программирования платы сбора данных использовался пакет LabVIEW. Внешний вид экспериментальной установки изображен на рисунке 2.

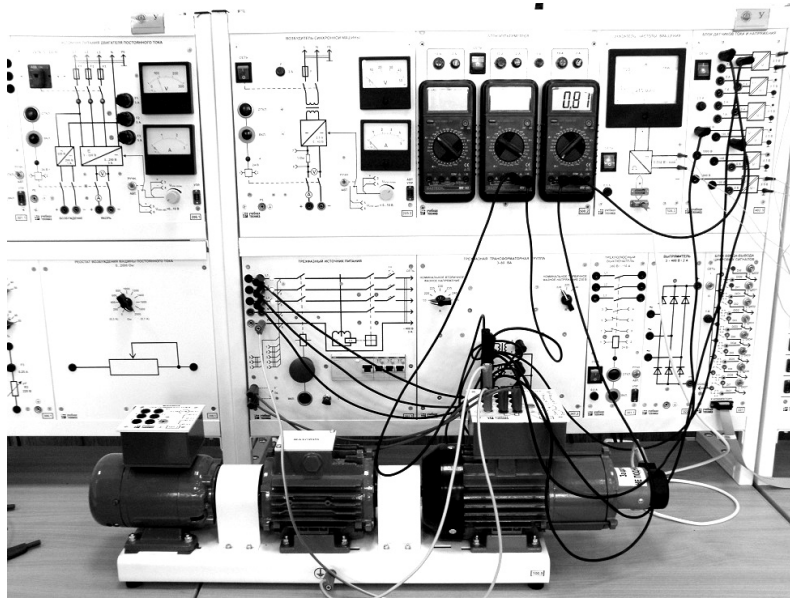


Рисунок 2 – Внешний вид стенда

В ходе исследования были получены переходные характеристики фазных токов, напряжений и скорости вращения ротора двигателя при пуске, набросе и сбросе нагрузки и торможении двигателя. Примеры графиков переходного процесса показаны на рисунке 3.

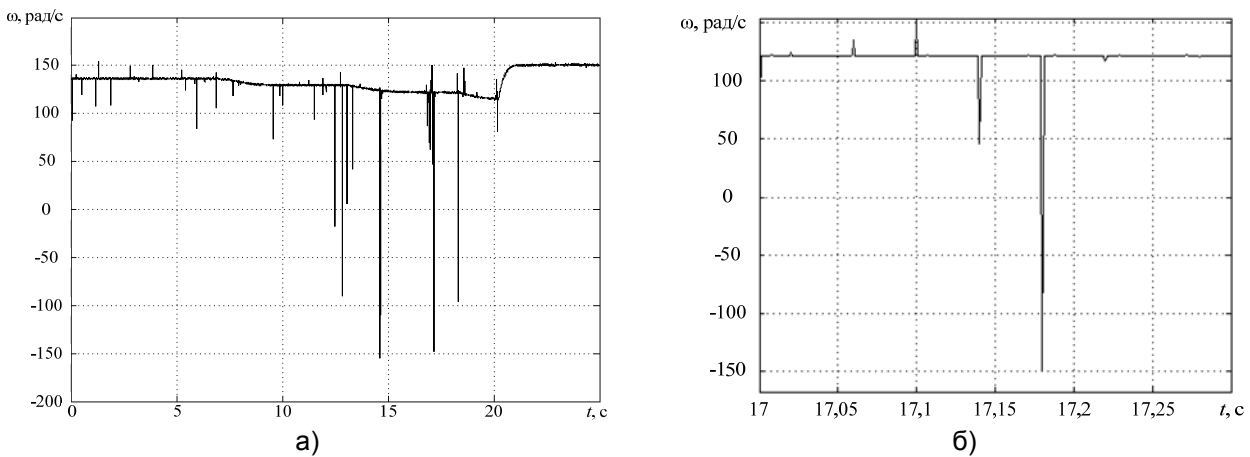


Рисунок 3 – Характер изменения сигналов в канале измерения скорости: а)-сигнал скорости при набросе и сбросе нагрузки; б)-пример отдельных импульсов

На обучающей выборке, сформированной из полученных зашумленных данных, обучался нейроэмулятор. Для нейроэмулятора была выбрана рекуррентная искусственная нейронная сеть вида 17-20-1, функция активации – гиперболический тангенс. Входными величинами являлись текущие и задержанные единожды, дважды и трижды значения токов и напряжений двух фаз статора двигателя, выходной – частота вращения ротора двигателя. Сеть обучалась методом Левенберга-Марквардта [3]. Число циклов обучения: 100. Сеть формировалась и обучалась с использованием набора инструментов Neural Network Toolbox программного пакета Matlab.

Для оценки точности идентификации опытные данные были сглажены при помощи взвешенной локальной квадратичной регрессии [4]. Сглаженные опытные данные приняты в качестве эталонных [5]. Графики сглаженных опытных данных и оценки скорости с использованием нейроэмулятора приведены на рисунках 4-6.

Среднеквадратическую погрешность измерения частоты вращения ротора двигателя в условиях сильных импульсных помех в измерительной системе предлагается определять по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{\omega}_i - \omega_i)^2}{n}},$$

где $\hat{\omega}_i$ – сглаженная частота вращения ротора на шаге интегрирования i ;
 ω_i – определенная в ходе исследования частота вращения ротора на шаге интегрирования i ;
 n – число шагов интегрирования.

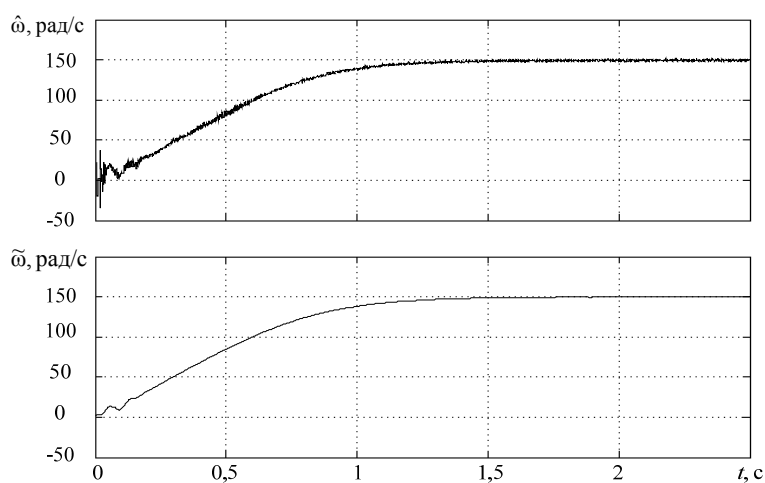


Рисунок 4 – Графики сглаженных опытных данных и оценки частоты вращения ротора при пуске двигателя вхолостую

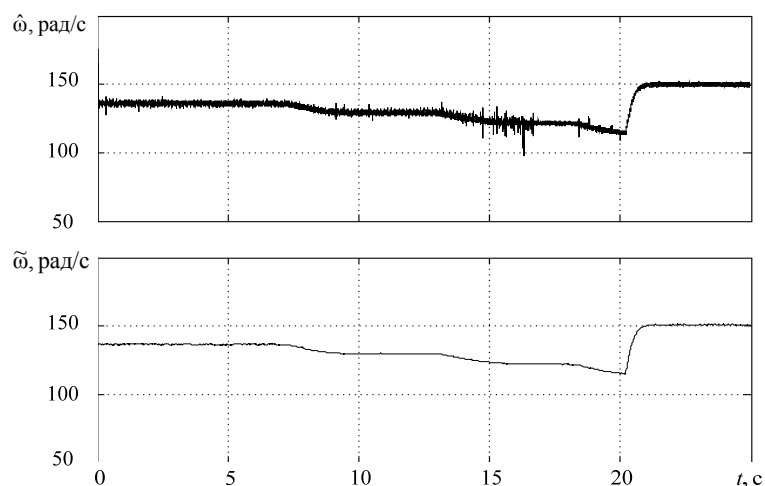


Рисунок 5 – Графики сглаженных опытных данных и оценки частоты вращения ротора при набросе и сбросе нагрузки

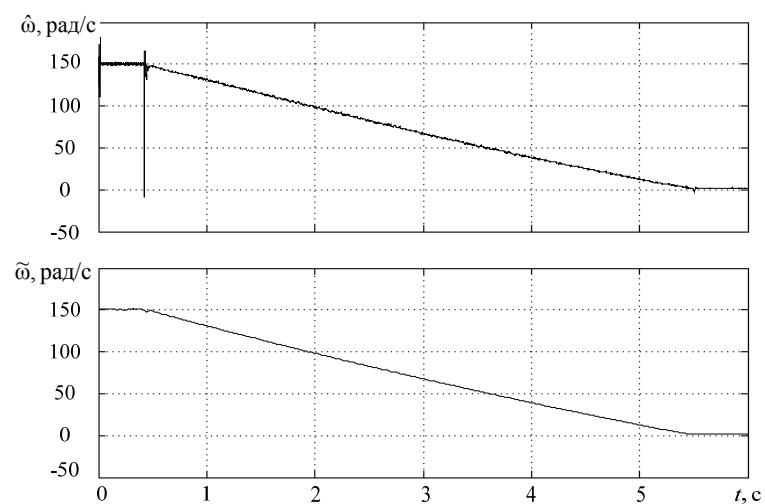


Рисунок 6 – Графики сглаженных опытных данных и оценки частоты вращения ротора при торможении двигателя

Среднеквадратическая погрешность измерения при пуске двигателя вхолостую за 2,5 с составила 0,88 рад/с, при набросе и сбросе нагрузки за 25 с – 4,06 рад/с, при торможении за 6 с – 2,62 рад/с.

Среднеквадратическая погрешность оценивания частоты вращения ротора двигателя с помощью нейроэмулятора рассчитывается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{\omega}_i - \hat{\omega}_i)^2}{n}},$$

где $\hat{\omega}_i$ – оценка частоты вращения ротора на шаге интегрирования i .

Среднеквадратическая погрешность измерения при пуске двигателя вхолостую за 2,5 с составила 2,6 рад/с, при набросе и сбросе нагрузки за 25 с – 1,69 рад/с, при торможении за 6 с – 1,92 рад/с.

Следовательно, нейроэмулятор позволяет оценивать частоту вращения ротора асинхронного двигателя с достаточной точностью даже при значительной погрешности измерения.

Заключение. Таким образом, искусственные нейронные сети дают возможность работать с зашумленными данными в измерительной системе ФТС, избавляя от необходимости применения для защиты от помех промежуточных электронных фильтров или фильтрации с помощью специализированных математических методов, таких как регрессия, сглаживание, интерполяция и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Blanke, M. Concepts and Methods in Fault-tolerant Control / M. Blanke, M. Staroswiecki, N.E. Wu // Tutorial at American Control Conference, June 2001.
- 2 Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации: пер. с пол. / С. Осовский. -М.: Финансы и статистика, 2002. - 344 с.
- 3 Метод Левенберга-Марквардта [Электронный ресурс]. -Режим доступа: [http:// alglib.sources.ru/optimization/levenbergmarquardt.php](http://alglib.sources.ru/optimization/levenbergmarquardt.php). -13.05.2011.
- 4 Хардле, В. Прикладная непараметрическая регрессия: пер. с англ. / В. Хардле. -М.: Мир, 1993. -349 с.
- 5 Тихонов, А.Н. Методы решения некорректных задач: учеб. пособие / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Наука, 1986. -286 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *искусственная нейронная сеть, идентификация, диагностика, электрическая машина*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Ткачук Роман Юрьевич, магистрант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*
Глазырин Александр Савельевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
Полищук Владимир Иосифович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
Глазырина Татьяна Анатольевна, ассистент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
Тимошкин Вадим Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
Козлова Людмила Евгеньевна, аспирант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБМОТКОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА

**ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»**

В.А. Лавринович, А.В. Мытников

WORKING OUT OF TECHNOLOGY OF DIAGNOSTICS OF A CONDITION OF WINDINGS OF TRANSFORMERS AND ELECTRIC MOTORS ON THE BASIS OF A PULSE METHOD

«National research Tomsk polytechnic university»

V.A. Lavrinovich, A.V. Mytnikov

The method of diagnostics of windings by means of low-voltage probing impulses is improved and the approach to diagnostics of windings of transformers and electric motors based on application of a probing impulse of a nanosecond range of duration is experimentally investigated. The offered method is simple, possesses high degree of sensitivity to various mutual geometrical changes to positions of coils of windings.

Keywords: transformer, coil, impulse, diagnostics, short circuit, capacity, oscillogram

Усовершенствован метод диагностики обмоток с помощью низковольтных зондирующих импульсов и экспериментально исследован подход к диагностике обмоток трансформаторов и электродвигателей основанный на применении зондирующего импульса наносекундного диапазона длительности. Предлагаемый метод прост, обладает высокой степенью чувствительности к различным взаимным геометрическим изменениям положениям витков обмоток.

Актуальность вопроса надежного, своевременного и достоверного контроля состояния высоковольтного оборудования возрастает год от года. Парк силовых трансформаторов стремительно стареет, и участвовавшие аварии с тяжелыми техническими, экологическими и экономическими последствиями вызывают необходимость разработки новых и совершенствования существующих методов диагностики, отвечающих требованиям сегодняшнего дня. Несвоевременная или некачественная диагностика обмоток приводит к тому, что трансформатор эксплуатируется с серьезными механическими дефектами обмоток, вызванных электродинамическим воздействием токов короткого замыкания. Часто такая ситуация приводит к пожару. Указанная тенденция отмечается во всех энергосистемах индустриально развитых стран. Аналогичная ситуация складывается в области диагностики электродвигателей, удельный вес которых составляет до 70-80% от общего числа приемников электроэнергии. Традиционные методы диагностики, такие как измерение сопротивления обмоток мегаомметром, хроматографический анализ масла, испытание масла в стандартном пробойнике не всегда эффективны. В связи с этим, разработка нового, эффективного, достоверного, простого и удобного в эксплуатации метода контроля механического состояния обмоток трансформаторов и электродвигателей является важной и актуальной задачей.

Основы диагностики обмоток прямоугольными импульсами. Среди разработанных и применяемых в эксплуатации способов контроля состояния обмоток трансформаторов наиболее прогрессивным является метод низковольтных импульсов (метод НВИ). Данная технология диагностики обмоток трансформаторов была предложена и доведена до уровня промышленного применения польскими учеными-электротехниками В. Лехом и Л. Тымински в 1966 году [1]. Метод НВИ известен и признан в мире уже 45 лет как наиболее чувствительный метод обнаружения остаточных деформаций в обмотках силовых трансформаторов вследствие электродинамических воздействий [2].

В ряде стран, в том числе в России, метод НВИ включен в национальные стандарты методики испытаний силовых трансформаторов на стойкость при коротких замыканиях [3]. Применяется метод НВИ и для диагностики остаточных деформаций обмоток в эксплуатации.

Суть метода заключается в подаче прямоугольного импульса низкого напряжения на одну из обмоток трансформатора, регистрации и анализе переходного импульсного тока, представляющего собой реакцию обмоток на этот импульс [4]. Сравнительный анализ различий в кривых импульсного переходного тока до и после электродинамического воздействия и лежит в основе метода [5-7].

Необходимо отметить, что для многих типов трансформаторов нормограммы отсутствуют (в РФ для большинства мощных трансформаторов), что делает затруднительным процесс диагностики. Часто в таких случаях используют отклики, принимаемые за нормограммы, снятые со «здоровых» фаз трансформаторов аналогичного типа, выпущенных в разное время и на различных заводах, что ставит объективность диагностических измерений под сомнение.

Нами предпринята попытка усовершенствовать известный метод НВИ и распространить его применение на электродвигатели. Если в стандартном методе НВИ длительность импульса составляет 1 мкс, то в используемом нами методе наносекундных низковольтных импульсов (метод ННИ) указанная длительность значительно меньше и не превышает 500 нс, при этом фронт импульса составляет единицы наносекунд. Сокращение длительности и фронта зондирующего импульса до наносекундного диапазона приводит к формированию более выраженного переходного процесса по сравнению с известным методом НВИ. Меньшая длительности фронта и импульса позволяют повысить чувствительность метода за счет формирования отклика в емкостных элементах системы и возбудить колебания в контурах с большей собственной частотой колебаний, чем при ранее применяемом методе НВИ. Любые, даже самые незначительные изменения геометрии обмоток, вызванные деформациями, смещениями, распрессовкой, полеганием проводников, межвитковыми замыканиями, а также любыми повреждениями в результате протекания токов короткого замыкания приводят к значимому изменению продольных и поперечных емкостей обмотки, а, следовательно, к изменению реакции обмоток на воздействие короткого (наносекундного) зондирующего сигнала. В стандартном методе НВИ используется сравнение дефектограмм, полученных в результате измерений, с нормограммами. Однако база нормограмм отсутствует практически для всех отечественных трансформаторов, а потому методика измерений, основанная на сравнении с нормограммой, является неточной и не всегда достоверной.

Нами был разработан и изготовлен генератор «Нанотест-1», который позволял формировать зондирующий импульс амплитудой до 350 В, длительностью порядка 350 нс, с фронтом на согласованной нагрузке не более 10 нс. При подаче такого импульса на одну из исследуемых обмоток с соседних обмоток регистрируется отклик – сигнал, представляющий собой реакцию на зондирующий импульс и соответствующий интенсивности переходного процесса. Генератор зондирующих импульсов «Нанотест-1» собран по схеме Введенского на основе кабельной линии.

Диагностика обмоток силовых трансформаторов 110/10 кВ, 63 МВА. Приведем пример диагностики механического состояния обмоток трансформаторов типа ТРДЦН-63000/110-76У1 (ГОСТ 12965-74) с помощью генератора «Нанотест-1». Методика диагностики заключалась в подаче зондирующего импульса на одну из обмоток трансформатора и осциллографирования отклика как на входе обмотки, так и на других обмотках трансформатора. Всего было четыре однотипных трансформатора, изготовленных в 1980 г. Тольяттинским заводом и введенных в эксплуатацию в 1981 г.

На рисунке 1 представлена осциллограмма, зарегистрированная на входе обмотки трансформатора со стороны 110 кВ. Аналогичная осциллограмма получается и на входе со стороны 6 кВ. Это говорит о том, что входные сопротивления высоковольтной и низковольтной обмоток примерно одинаковы и носят для диапазона частот обеспечиваемого формой волны генератора «Нанотест-1» емкостный характер. По этому отклику достаточно сложно судить о состоянии элементов обмотки, на которую подается зондирующий импульс. Отклики с других обмоток оказываются более чувствительны к различного рода геометрическим изменениям расположения витков обмоток.

Высокая чувствительность метода подтверждается тем, что при подаче зондирующего импульса на одну из обмоток трансформатора наблюдаются отклики со всех обмоток трансформатора, причем все они носят индивидуальный вид. Например, на рисунке 2 приведены осциллограммы с высоковольтных обмоток А и С при подаче зондирующего импульса на высоковольтную обмотку В.

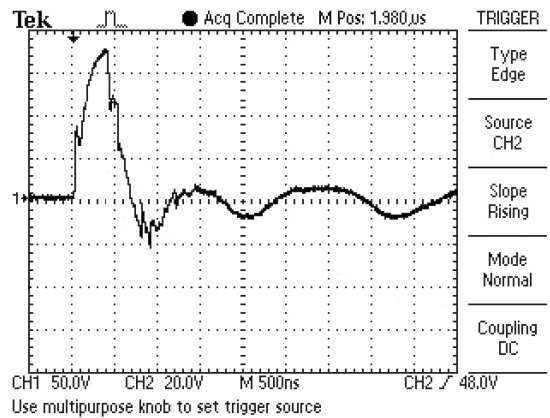
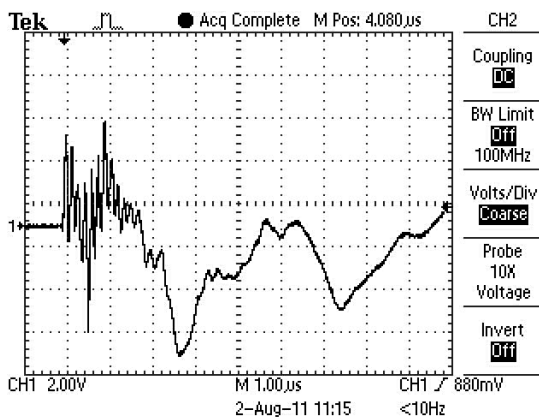
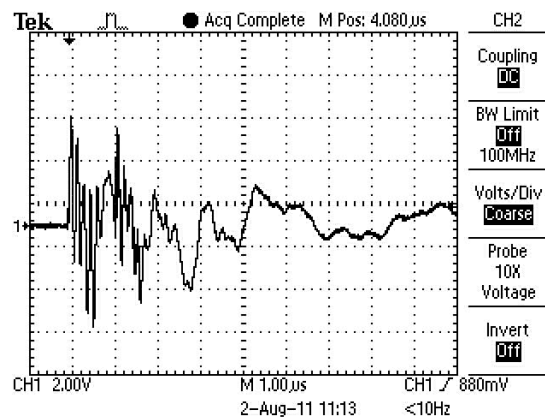


Рисунок 1 – Вид осциллограмм на входе обмоток трансформатора



а)



б)

Рисунок 2 – Импульсы-отклики с высоковольтных обмоток А и С при подаче зондирующего импульса на обмотку В: а)-отклик с обмотки А; б)-отклик с обмотки С (трансформатор №4)

О конструктивной идентичности обмоток можно судить при перестановке местами зондирующего импульса и импульса-отклика. Для примера на рисунке 3, а приведены осциллограммы импульса-отклика с высоковольтной обмотки А при подаче зондирующего импульса на высоковольтную обмотку В. На рисунке 3б импульс-отклик с обмотки В – при подаче зондирующего импульса на высоковольтную обмотку А. Видно, что формы импульсов-откликов не отличаются друг от друга, что говорит о хорошем соответствии между собой взаимного геометрического расположения обмоток А и В.

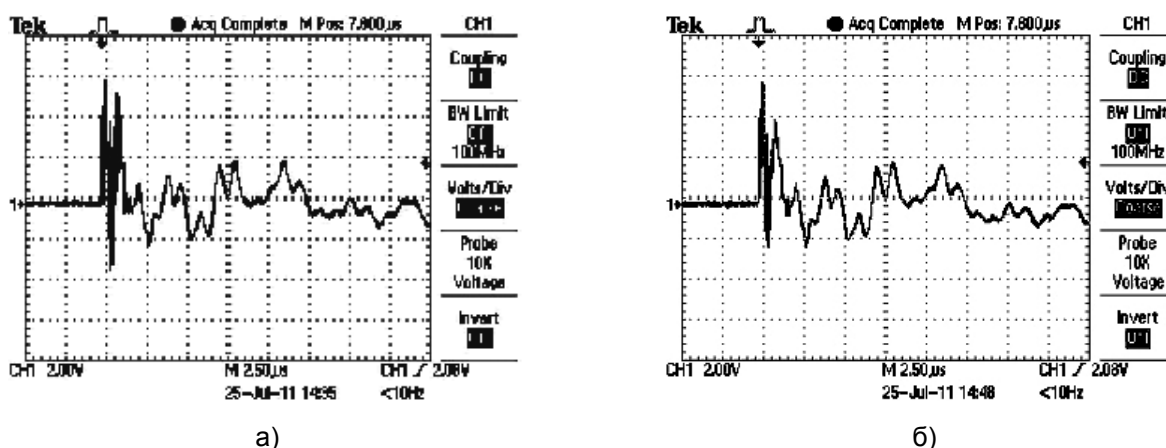


Рисунок 3 – Осциллограммы откликов: а)-на обмотке А, зондирующий импульс на обмотке В; б)-на обмотке В, зондирующий импульс на обмотке А (трансформатор №2)

Аналогичным образом можно проверить, насколько идентично выполнены обмотки, находящиеся на разных стержнях трансформатора. На рисунке 4 приведены импульсы-отклики с обмоток а2в2 при подаче зондирующих импульсов на обмотки а1в1 и, соответственно, в2с2-в1с1. Видно, что формы откликов практически одинаковы между собой. Это говорит, о хорошем геометрическом соответствии между обмотками, размещенными на разных стержнях.

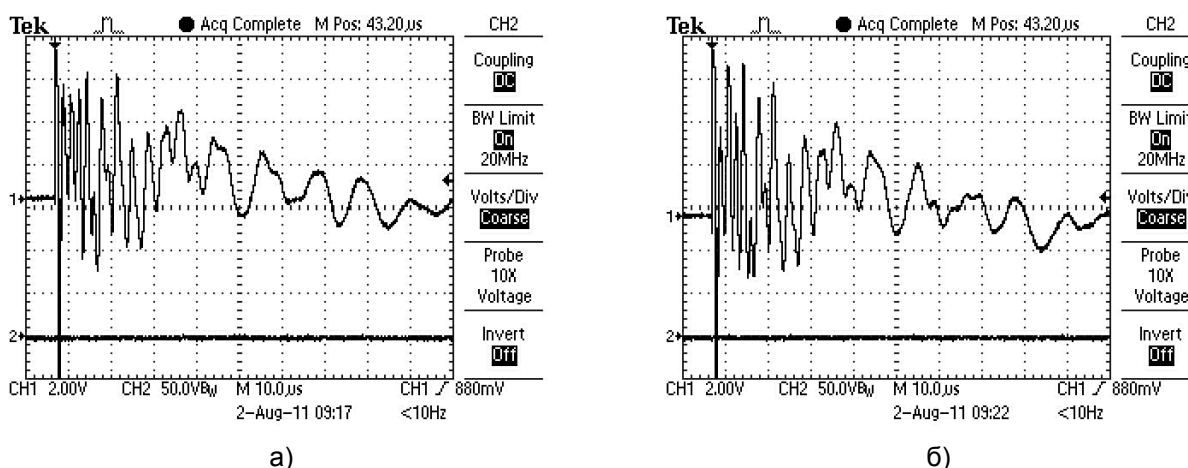


Рисунок 4 – Отклики с обмоток низкого напряжения: а)-а2в2 при подаче импульса на обмотку а1в1; б)-в2с2 при подаче зондирующего импульса на обмотку в1с1 (трансформатор №4)

Приведенные результаты подтверждают высокую чувствительность метода ННИ. В связи с этим при соответствующей доработке и доведении его до нормируемой методики он может быть рекомендован как один из методов диагностики механического состояния обмоток силовых трансформаторов. Наличие нормограмм, получаемых на заводе при выпуске трансформатора, могло бы значительно упростить указанную методику диагностики и еще на ранних стадиях определять дефекты силовых трансформаторов, которые связаны со смещением обмоток и их элементов.

Диагностика обмоток электродвигателей переменного тока. Нами предпринята попытка диагностики состояния обмоток электродвигателей переменного тока большой мощности с помощью описанного выше генератора «Нанотест-1». Исследовался результат воздействия прямоугольных наносекундных импульсов на обмотки электродвигателей, установленных на теплоэлектростанции Юргинского машиностроительного завода г. Юрга. Суть экспериментов состояла в исследовании отклика, регистрируемого между различными фазами, как реакции на прямоугольный импульс наносекундной длительности. Регистрация сигналов, как зондирующих импульсов, так и импульсов отклика, проводилась при помощи осциллографов марки «Тектроник ТДС 2012».

Основной задачей экспериментальных исследований было проверка возможности применения усовершенствованной методики НВИ для обнаружения дефектов обмоток асин-

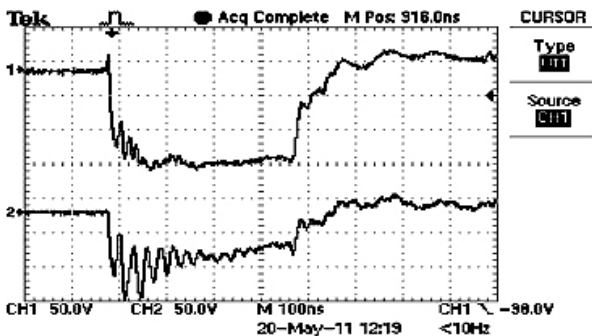
хронных двигателей переменного тока на основе анализа импульса отклика и зондирующего импульса. Комплексное обследование проводилось для двух электродвигателей – нового исправного электродвигателя и электродвигателя, выведенного из эксплуатации по причине дефектных обмоток. Электродвигатели были идентичны по типу, конструктивному исполнению и назначению. Характеристики электродвигателей, на которых отработывалась создаваемая методика, приведены в таблице.

На рисунке 5, а в качестве примера приведены осциллограммы импульса на входе обмотки при подаче зондирующего импульса на эту обмотку и импульса отклика для случая исправного двигателя. Зондирующий импульс был подан на пару контактов «фаза С-нейтраль», отклик регистрировался на паре «фаза А-нейтраль».

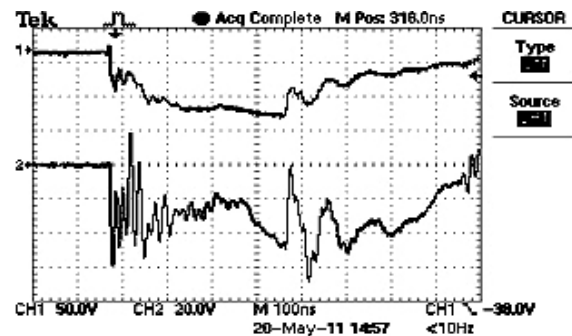
На рисунке 5б приведены аналогичные осциллограммы зондирующего импульса и импульса отклика для неисправного электродвигателя. Из осциллограмм рисунок 5 видно, что, во-первых, форма импульса на зондируемой обмотке зависит от состояния обмотки, во-вторых, импульс-отклик на другой обмотке электродвигателя также претерпевает значительные изменения формы при дефекте в обмотке, на которую подается зондирующий импульс. Таким образом, методика НИИ достаточно чувствительна для диагностики состояния обмоток электродвигателей.

Таблица – Параметры исследуемого асинхронного электродвигателя (ОАО «Сафоновский электромашиностроительный завод»)

Наименование параметра	Значение
Тип	A4-400Y-4MY3
Количество фаз	3
Частота	50 Гц
Мощность	630 кВт
Схема соединения статора	звезда
Рабочее напряжение	6 кВ
Ток	72,5 А
КПД $\cos \varphi$	95,2%
Число оборотов в минуту	1500
Вес	2290 кг
ТУ	3334-001-00213109-95



а)



б)

Рисунок 5 – Осциллограммы на обмотке С и на обмотке А при подаче зондирующего импульса на обмотку «С-нейтраль»: а)-исправный электродвигатель, б)-неисправный электродвигатель

В случае, если нейтраль обмотки электродвигателя недоступна по каким-либо причинам, то указанную методику можно использовать, прикладывая зондирующий импульс к началу обмотки электродвигателя и корпусу («земле») электродвигателя. В качестве подтверждения работоспособности данного метода на рисунке 6, а приведены осциллограммы импульса между началом обмотки фазы А и «землей» и откликом между началом обмотки фазы В и «землей» для исправного электродвигателя. На рисунке 6б приведены аналогичные осциллограммы для электродвигателя с дефектной обмоткой фазы А.

Сравнение формы сигналов отклика на исправном электродвигателе рисунок 6а, с сигналом отклика на заведомо дефектной обмотке рисунок 6б выявило искажение импульса как на входе неисправной обмотки, так и искажение импульса-отклика на соседней обмотке. Характерные взаимосвязанные изменения форм импульсов на зондируемой обмотке и отклики на других обмотках электродвигателя позволяют достаточно достоверно определять дефектную обмотку, не используя нормограмм для данного электродвигателя.

Этот факт позволяет утверждать, что при доработке этого метода применительно к электродвигателям можно получить методику диагностики электродвигателей большой мощности, отличающуюся по своей чувствительности в лучшую сторону от методики диагностики силовых трансформаторов, базирующуюся на сравнении осциллограмм-откликов с

нормограммами, где выводы делаются только на основании анализа сигнала отклика.

В наших экспериментах не применялось разложение сигнала отклика в ряд Фурье, которое повсеместно используется в методике анализа частотных характеристик. Эксперименты, выполненные как на модельном электродвигателе, так и на реальных электрических машинах, показали, что определять дефекты в обмотках электрических машин можно достаточно надежно без разложения импульсов отклика в ряд Фурье. Характерные формы откликов свидетельствуют о присутствии дефектного состояния.

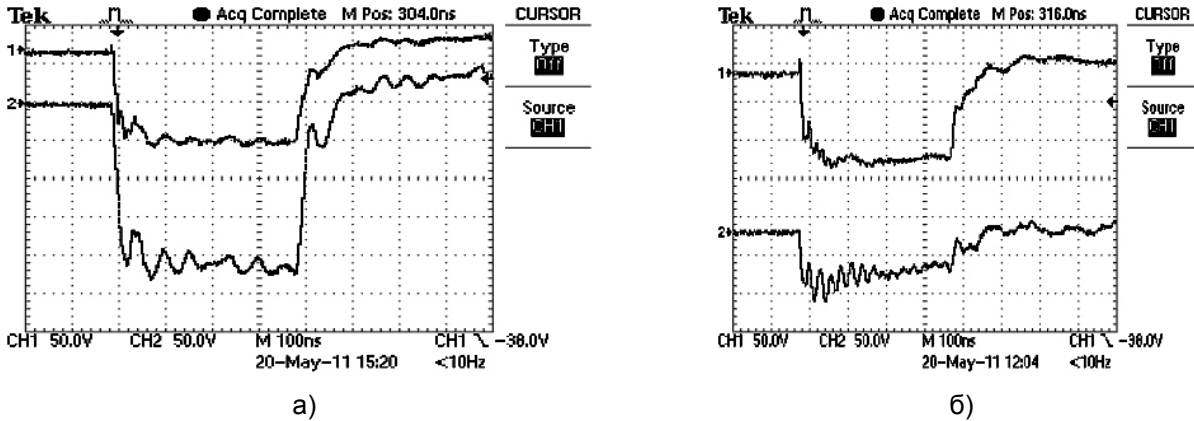


Рисунок 6 – Осциллограммы при диагностике состояния обмоток электродвигателя при приложении зондирующего импульса к началу обмотки фазы А и «земле» и отклику с начала обмотки фазы В и «землей»: а)-исправный электродвигатель; б)-электродвигатель с неисправной обмоткой фазы А

Результаты, полученные в ходе выполнения данной серии экспериментов, могут быть сформулированы в виде следующих положений:

1 Усовершенствованный метод НВИ, основанный на применении достаточно коротких диагностических импульсов с наносекундными фронтами, доведенный до уровня промышленной технологии контроля состояния активных частей силовых трансформаторов, может быть успешно применен для диагностики обмоток асинхронных двигателей переменного тока.

2 Уменьшение длительности зондирующего импульса до уровня 400 нс позволяет повысить чувствительность метода и достоверность определения дефектов.

3 Предложенный и исследованный метод низковольтных наносекундных импульсов для диагностики обмоток электродвигателей переменного тока основан на сравнении импульсных сигналов на входе зондируемой обмотки и импульса-отклика на других обмотках электродвигателя. По характерным формам и специфическим отличиям можно делать вывод о наличии или отсутствии дефектов.

4 Для интерпретации результатов измерений нет необходимости выполнять разложение импульса отклика в ряд Фурье, что упрощает традиционную методику амплитудно-частотных характеристик.

5 При выполнении диагностики посредством наносекундных низковольтных импульсов отсутствует необходимость сравнения полученных сигналов с нормограммами, снятыми на заводе-изготовителе или после капитальных ремонтов. Это существенно упрощает процесс контроля состояния без снижения точности и чувствительности метода.

Заключение. Усовершенствован метод диагностики обмоток с помощью низковольтных зондирующих импульсов и экспериментально исследован подход к диагностике обмоток трансформаторов и электродвигателей, основанный на применении зондирующего импульса наносекундного диапазона длительности. Обследование новым методом обмоток трансформатора ТРДЦН-63000/110-76 У1 при различных комбинациях мест приложения зондирующего импульса и регистрации сигнала отклика показало принципиальную возможность контролировать механическое состояние обмоток. Предлагаемый метод прост, обладает высокой степенью чувствительности к различным взаимным геометрическим изменениям положения витков обмоток. Есть основания полагать, что при детальном развитии метода, а также наборе большого количества статистических данных (осциллограмм, соответствующих «здоровому» состоянию и дефектам различного вида) можно будет проводить контроль состояния без сравнения с нормограммами. Это особенно актуально для энергосистем Рос-

сии, так как база нормограмм отсутствует для подавляющего большинства (в ряде случаев 100%) типов силовых трансформаторов. Обследование методом наносекундных низковольтных импульсов обмоток электродвигателей переменного тока также подтвердило возможность определять состояние обмотки не только по характерной форме сигнала отклика, но и по специфике изменения первоначальной формы зондирующего импульса, степень деформации которого (изменение формы импульса от прямоугольной к произвольной) пропорциональна степени развития дефекта. Разложение сигналов отклика в ряд Фурье при этом не обязательно, что упрощает диагностику данным методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лех, В. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность / В. Лех, Л. Тымински // Электричество. -1966. -№1.
- 2 Аветисов, В.Г. Импульсное дефектографирование трансформаторов, при испытаниях на электродинамическую стойкость / В.Г. Аветисов, Е.И. Левицкая, Б.А. Попов // Электротехника. -1978. -№4.
- 3 Количественная оценка результатов импульсного дефектографирования обмоток силовых трансформаторов / С.В. Аликин, А.А. Дробышевский, Е.И. Левицкая, М.А. Филатова // Электротехника. -1990. -№5.
- 4 Определение деформаций крупных силовых трансформаторов / В.В. Соколов, С.В. Цурнал, Ю.С. Колов, В.В. Короленко // Электр. станции. -1988. -№6.
- 5 Колов, Ю.С. Обнаружение повреждений трансформаторов при коротких замыканиях / Ю.С. Колов, В.В. Короленко, В.П. Федорова // Электр. станции. -1980. -№7.
- 6 Лурье, А.И. Повышение точности измерения отклонения индуктивного сопротивления при электродинамических испытаниях силовых трансформаторов / А.И. Лурье, О.А. Шлегель // Электротехника. -1991. -№12.
- 7 ГОСТ 20243-74. Трансформаторы силовые. Методы испытаний на стойкость при коротком замыкании. -М.: Изд-во стандартов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трансформатор, виток, импульс, диагностика, замыкание, емкость, осциллограмма
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Лавринович Валерий Александрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
Мытников Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСЕКУНДНЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

В.А. Лавринович, М.Т. Пичугина, А.Р. Рамазанова

LOW-VOLTAGE IMPULSE APPLICATION FOR POWER TRANSFORMER DIAGNOSTICS

«National research Tomsk polytechnic university»

V.A. Lavrinovich, M.T. Pichugina, A.R. M.T. Pichugina

Transient process which occurs in windings as a result of rectangular impulse effect is investigated. Preliminary certification of valid (or new) transformer response to LVI is conducted. Comparison of oscillograms recorded before short circuit (normograms) and after short circuit (defectograms) allows to evaluate transformer state. Oscillogram changes indicate electrical and mechanical damages.

Keywords: low-voltage impulse method, power transformer, normogram, defectogram, diagnostics, coil windings

Исследуется переходный процесс, возникающий в обмотках трансформатора как реакция на воздействие прямоугольного импульса. Сравнение осциллограмм, записанных до КЗ (нормограмм) и после КЗ (дефектограмм), позволяет оценить состояние трансформатора. Изменения в осциллограммах свидетельствуют о появлении электрических или механических повреждений.

В настоящее время в России и странах ближнего зарубежья значительная часть силовых трансформаторов 110 кВ и выше отработала нормативный срок службы. Экономическая ситуация, а также общее количество оборудования с длительным сроком службы не позволяют в ближайшие годы провести их замену. В этой ситуации поддержание требуемой эксплуатационной надежности трансформаторов требует объективного диагностического контроля [1]. Он необходим для выявления начальных повреждений и прогнозирования надежности конструкции трансформатора. Традиционные методы диагностики, такие как измерение сопротивления обмоток, хроматографический анализ масла, испытание масла в стандартном пробойнике не всегда выявляют начало повреждений обмоток типа: деформации, смещения, распрессовка, полегание проводников, межвитковые замыкания. Для выявления этих дефектов, на наш взгляд, наиболее приемлем метод низковольтных импульсов (НВИ), предложенный польскими учеными-электротехниками В. Лехом и Л. Тымински в 1966 году [2]. Одним из достоинств этого метода является то, что для оценки состояния обмоток

трансформатора нет необходимости разбирать трансформатор [3]. Другим достоинством метода НВИ, по мнению авторов [4], является высокая чувствительность к различного рода изменениям в геометрии обмоток и их элементов.

По-видимому, чувствительность этого метода можно увеличить, если использовать импульсы с наносекундным фронтом. Для проверки этого предположения нами разработан специальный кабельный генератор, который позволяет формировать на согласованной нагрузке импульс длительностью 240 нс с фронтом порядка 10 нс амплитудой 132 В.

Исследования проведены на трансформаторе типа TDBTS-10, 370 мА, 50 Гц. Импульс с кабельного генератора подавался на одну из обмоток трансформатора. Эти импульсы в дальнейшем будем называть зондирующими. Осциллограмма зондирующего импульса на согласованной нагрузке приведена на рисунке 1.

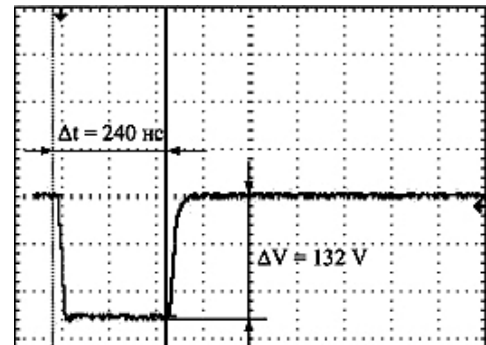


Рисунок 1 – Вид зондирующего импульса с кабельного генератора

Регистрация сигналов с других обмоток осуществлялась с помощью осциллографа Tectronix, эти сигналы обычно называются откликами. Методика исследования заключалась в следующем. Сначала снимались, так называемые, нормограммы, то есть на одну из обмоток бездефектного трансформатора подавался зондирующий импульс, а с других обмоток снимались отклики. Затем искусственно создавались дефекты обмоток (закорачивались некоторые обмотки или создавались короткозамкнутые витки) и, подавая зондирующие импульсы, снимались отклики, которые будем называть дефектограммами. После этого сравнивались нормограммы и дефектограммы. Отклонения дефектограмм от нормограмм говорят о чувствительности диагностики к соответствующим дефектам обмоток трансформатора.

Исследование проводилось для двух схем соединения обмоток трансформатора:

- 1 Обмотки высокого и низкого напряжения соединялись в «звезду» (рисунок 2а);
- 2 Обмотки высокого напряжения соединялись в «звезду», а обмотки низкого напряжения соединялись в «треугольник» (рисунок 2б).

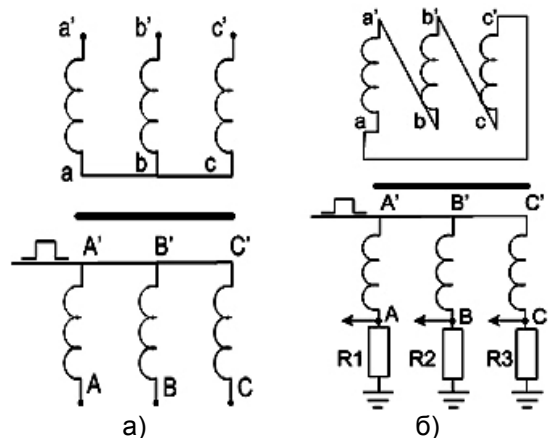


Рисунок 2 – Схемы соединения обмоток трансформатора и места приложения зондирующего импульса

Для сравнительного анализа были сняты нормограммы (трансформатор без дефектов) и дефектограммы (когда на трансформаторе были дефекты). Для качественной оценки результатов НВИ был проведен сравнительный анализ нормограмм и дефектограмм. При наложении дефектограмм на нормограммы совмещались по оси времени начала переходного процесса на осциллограммах и определялись максимальные амплитудные отклонения дефектограмм от нормограмм.

На рисунке 3 приведены совмещенные нормограммы с дефектограммами для соединения обмоток трансформатора по схеме рисунок 2а. Дефектограммы сняты для трансформатора, у которого закорочены несколько витков обмотки высокого напряжения фазы В.

Видно, что наибольшее отличие дефектограммы от нормограммы наблюдается именно для той обмотки, на которой есть дефект. Подтверждение этой взаимосвязи приведено на рисунке 4, где показаны совмещенные нормограммы с дефектограммами того же трансформатора, только закорочены несколько витков высоковольтной обмотки фазы С. Отклики, снятые с обмоток низкого напряжения, аналогичны предыдущему случаю: наибольшее отличие дефектограммы от нормограммы наблюдается для поврежденной фазы.

Методом наносекундных низковольтных импульсов хорошо диагностируются трансформаторы, у которых низковольтные обмотки соединены в «треугольник». На рисунке 5 приведены наложенные дефектограммы на нормограммы трансформатора, у которого закорочены витки на обмотке В, (рисунок 3б), а отклики получены с обмоток низкого напряжения aa', bb' и cc'. По рисунку 5б видно, что на поврежденной фазе дефектограмма значимо отли-

чается от нормограммы.

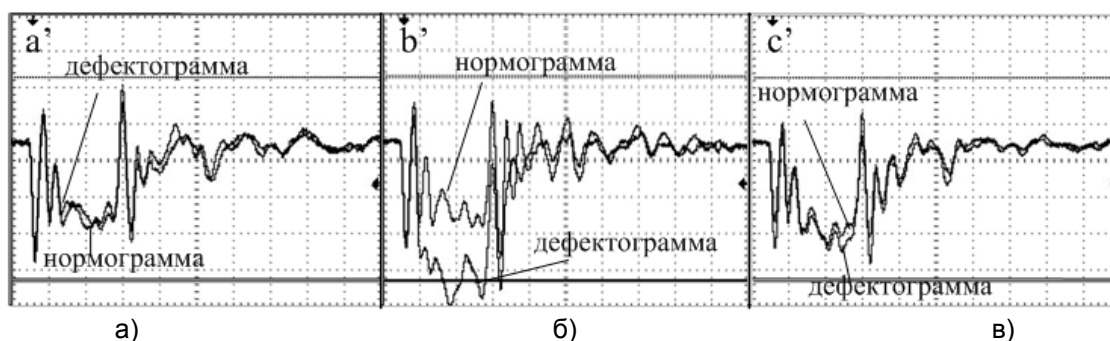


Рисунок 3 – Совмещенные нормограммы с дефектограммами трансформатора (рисунок 2а), у которого закорочены витки обмотки высокого напряжения фазы В: а)-отклик на обмотке aa' ; б)-отклик на обмотке bb' ; в)-отклик на обмотке cc'

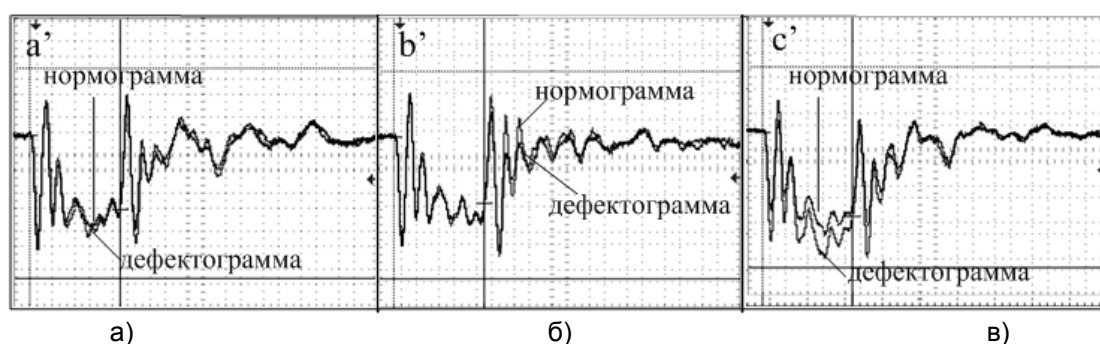


Рисунок 4 – Совмещенные нормограммы с дефектограммами трансформатора (рисунок 2а), у которого закорочены витки обмотки высокого напряжения фазы С: а)-отклик на обмотке aa' ; б)-отклик на обмотке bb' ; в)-отклик на обмотке cc'

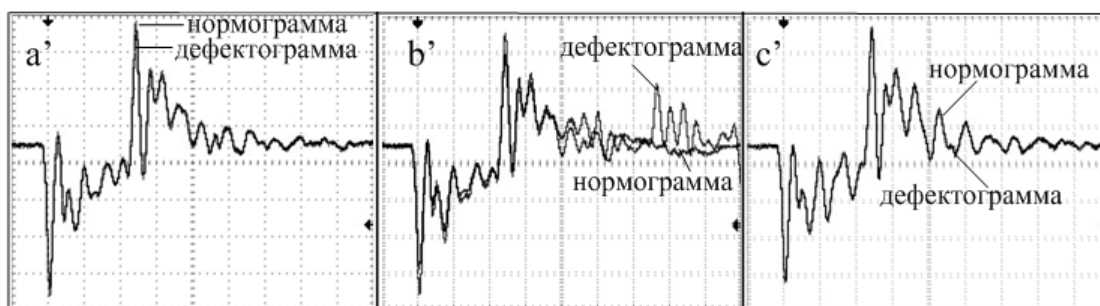


Рисунок 5 – Совмещенные нормограммы с дефектограммами трансформатора (рисунок 2б), у которого закорочены витки обмотки высокого напряжения фазы В: а – отклик на обмотке aa' , б – отклик на обмотке bb' , в – отклик на обмотке cc'

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность диагностировать замыкания витков обмотки посредством наносекундных низковольтных импульсов и выделять обмотку, на которой произошло витковое замыкание, независимо от способа соединения обмоток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Хренников, А.Ю. Опыт обнаружения остаточных деформаций обмоток силовых трансформаторов / А.Ю. Хренников // Энергетик. -2003. -№7.
 2 Лех, В. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность / В. Лех, Л. Тымински // Электричество. -1966. -№1.
 3 РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования: с Изм. 1, 2. -М.: ЭНАС, 2000.
 4 Применение метода низковольтных импульсов для диагностики состояния силовых трансформаторов / А.Ю. Хренников, В.А. Передельский, А.А. Сафонов, В.А. Якимов // Энергетик. -2005. -№9. -С. 11-14.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метод низковольтных импульсов, силовой трансформатор, нормограмма, дефектограмма, диагностика, витки катушки
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Лавринович Валерий Александрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
 Пичугина Мария Тимофеевна, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
 Рамазанова Альбина Рамазановна, магистрант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА К ИССЛЕДОВАНИЯМ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Ю.В. Хрущев, И.С. Токарев

NYQUIST CRITERION APPLICATION IN RESEARCH OF POWER SUPPLY SYSTEMS STATIC STABILITY
«National research Tomsk polytechnic university»
Yu.V. Khrushchev, I.S. Tokarev

This work considers different ways applying Nyquist criterion for solving analysis problems and developing devices automatic regulation of power supply systems.

Keywords: power supply system, static stability, transfer function, frequency characteristic, Nyquist criterion

Рассмотрены возможности применения критерия Найквиста для решения задач анализа и синтеза устройств автоматического регулирования электроэнергетических систем.

В настоящее время для анализа статической устойчивости (устойчивости «в малом») электроэнергетических систем (ЭЭС) используется корневой анализ, а также алгебраические и частотные критерии устойчивости. Для решения задач синтеза систем автоматического управления ЭЭС наибольшее распространение получил метод D-разбиения. Эти критерии и метод D-разбиения требуют обязательной линеаризации исходной системы дифференциальных уравнений и построения, в той или иной форме, характеристического уравнения этой системы.

К наиболее сложным задачам, для решения которых требуется проведение расчетов устойчивости «в малом» при эксплуатации объектов ЭЭС, относится задача настройки их систем автоматического регулирования. Сложность обусловлена тем, что для решения этой задачи требуется использовать наиболее полное математическое описание силовых и управляющих элементов энергосистемы. К этому добавляются широкая номенклатура и большое количество элементов, действующих в ЭЭС. В результате требуется рассматривать системы нелинейных дифференциально-алгебраических уравнений очень высокого порядка.

Линеаризация уравнений переходных процессов в энергосистемах представляет собой относительно простую, но весьма громоздкую процедуру. При этом получение характеристического уравнения в лучшем случае достигается в форме характеристического определителя. Вывод характеристического уравнения в полиномиальной форме для сложных энергосистем, как правило, не производится из-за чрезмерной сложности математических преобразований [1].

Очевидно, что разработка методов анализа устойчивости «в малом» ЭЭС, не требующих процедуры линеаризации исходных уравнений и построения характеристического уравнения, позволила бы значительно упростить вычислительные процедуры. Наиболее подходящим для этой цели представляется частотный критерий Найквиста, получивший широкое распространение при анализе систем автоматического управления и электроники. В электроэнергетике критерий Найквиста не применяется и его потенциальные возможности для разработки эффективных методов исследования устойчивости «в малом» не определены. В этом направлении первоначально предстоит решить две важные задачи: во-первых, необходимо оценить в целом применимость этого метода и, во-вторых, разработать способы его использования без предварительной линеаризации системы исходных уравнений.

Далее рассматривается задача применимости критерия Найквиста для исследования устойчивости «в малом» ЭЭС.

На данном этапе эта задача решается традиционным образом, то есть на основе линеаризации систем исходных уравнений. При этом производится сравнительная оценка результатов, получаемых с помощью критерия Найквиста и критерия Михайлова.

Одним из основных вопросов применения критерия Найквиста для анализа устойчивости «в малом» ЭЭС является вопрос построения передаточных функций и, соответственно, частотных характеристик разомкнутой системы. Этот вопрос решается путем построения режимных частотных характеристик ЭЭС, получаемых для конкретных ее режимов.

Передаточную функцию замкнутой системы можно получить путем задания внешнего по

отношению к ЭЭС возмущения и определения реакции на это возмущение в виде отклонения какого-либо внутреннего параметра режима. Наиболее наглядными, но не обязательными, параметрами представляются: возмущение в виде малого приращения активной мощности (мощности турбины) какого-либо генератора и реакция ЭЭС на это возмущение в виде отклонения угла вылета ротора этого генератора. Отношение входного параметра (возмущения) к выходному параметру (реакции ЭЭС), выраженных в операторной форме, является передаточной функцией замкнутой системы, которая может быть представлена в виде системы с единичной обратной связью. Переход к разомкнутой системе в этом случае осуществляется по известному выражению

$$W_p(p) = \frac{W_3(p)}{1 - W_3(p)} \quad (1)$$

где $W_3(p), W_p(p)$ – передаточные функции соответственно замкнутой и разомкнутой систем.

В случае устойчивости разомкнутой системы критерий Найквиста формулируется так: для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) устойчивой разомкнутой системы, построенная по передаточной функции $W_p(p)$, не охватывала точку $(-1, j0)$ [3].

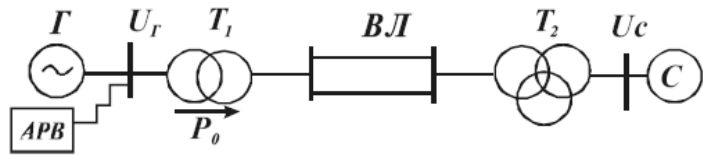


Рисунок 1 – Схема одномашиной энергосистемы

Для примера рассмотрим одномашинную модель энергосистемы (рисунок 1), синхронный генератор которой оборудован автоматическим регулятором возбуждения сильного действия (АРВ СД). Математическое описание элементов этой системы представлено упрощенными уравнениями, приемлемыми для рассмотрения задач расчета статической устойчивости.

Исходные уравнения переходных процессов одномашиной энергосистемы с АРВ СД в обозначениях [2] имеют вид

$$\begin{cases} \frac{T_j}{\omega_c} p^2 \delta = P_T - P; \\ E_q = E_{qe} + E_{qcs}; \\ E_{qcs} = -T_{d0}' p E_q'; \\ E_{qe} = E_{qe0} + \frac{1}{(pT_e + 1)(pT_p + 1)} \sum_j \left[K_{0Rj} + \frac{pK_{1Rj}}{pT_e + 1} + \frac{p^2 K_{2Rj}}{pT_p + 1} \right] (R_j - R_{0j}). \end{cases} \quad (2)$$

Уравнения (2) составляют незамкнутую (количество неизвестных больше количества уравнений) дифференциально-алгебраическую систему уравнений. Недостающее уравнение будет далее введено в виде связи между линейными приращениями параметров режима.

В результате линеаризации уравнений (2) получаем линейную систему вида

$$\begin{cases} \frac{T_j}{\omega_c} p^2 \Delta \delta = -\Delta P; \\ E_q = \frac{1}{(pT_e + 1)(pT_p + 1)} \left[(K_{0U} + pK_{1U})(-\Delta U_r) + (K_{0f} + pK_{1f}) \Delta f \right] - T_{d0}' p \Delta E_q'; \\ \Delta P = \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial P}{\partial E_q} \Delta E_q; \\ \Delta E_q' = \frac{\partial E_q'}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial E_q'}{\partial E_q} \Delta E_q; \\ \Delta U_r = \frac{\partial U_r}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial U_r}{\partial E_q} \Delta E_q. \end{cases} \quad (3)$$

при этом

$$\Delta f = p \Delta \delta. \quad (4)$$

Для получения характеристического уравнения системы линеаризованных уравнений (3,4) исключим переменные ΔP , $\Delta E'_q$, ΔU_r , Δf . После несложных преобразований получим систему двух линеаризованных уравнений в виде

$$\begin{cases} a_{11}(p)\Delta\delta + a_{12}(p)\Delta E_q = 0; \\ a_{21}(p)\Delta\delta + a_{22}(p)\Delta E_q = 0, \end{cases} \quad (5)$$

где $a_{11}(p) = \frac{T_j}{\omega_c} p^2 + \frac{\partial P}{\partial \delta}$; $a_{12}(p) = \frac{\partial P}{\partial E_q}$;

$$a_{21}(p) = -\frac{1}{(pT_e + 1)(pT_p + 1)} \left[(K_{0U} + pK_{1U}) \frac{\partial U_r}{\partial \delta} + (pK_{0f} + p^2 K_{1f}) \right] - T_{\sigma 0} p \frac{\partial E'_q}{\partial \delta};$$

$$a_{22}(p) = 1 - \frac{1}{(pT_e + 1)(pT_p + 1)} \left[-(K_{0U} + pK_{1U}) \frac{\partial U_r}{\partial E_q} \right] + T_{\sigma 0} p \frac{\partial E'_q}{\partial E_q}.$$

Главный определитель $D_{\Delta}(p)$ системы линеаризованных уравнений (5) является характеристическим определителем. Приравнивание этого определителя к нулю дает характеристическое уравнение.

Для построения передаточной функции замкнутой и разомкнутой систем зададим внешнее возмущение в виде приращения активной мощности ΔP генератора в правой части первого уравнения системы (5). В результате получим

$$\begin{cases} a_{11}(p)\Delta\delta + a_{12}(p)\Delta E_q = \Delta P; \\ a_{21}(p)\Delta\delta + a_{22}(p)\Delta E_q = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Приняв отклонение угла $\Delta\delta$ в качестве выходного параметра, в результате решения системы (6) получим уравнение

$$\Delta\delta = W_3(p)\Delta P; \quad (7)$$

$$W_3(p) = \frac{D_{\Delta 1}(p)}{D_{\Delta}(p)},$$

где $D_{\Delta}(p)$ – передаточная функция замкнутой системы;

$D_{\Delta 1}(p)$ – соответственно, главный определитель системы (6) и его минор.

Соответствующая передаточная функция разомкнутой системы представлена в виде выражения (1).

В результате подстановки $p = j\omega$ получаем характеристический вектор $D_{\Delta}(j\omega)$ для построения годографа Михайлова и комплексный коэффициент усиления $W_p(j\omega)$ для построения АФЧХ разомкнутой системы.

Кривые, построенные по этим выражениям для устойчивого и неустойчивого состояний ЭЭС, представлены на рисунке 2.

Результаты построения показывают, что критерии Михайлова и Найквиста идентично указывают на устойчивое и неустойчивое состояния ЭЭС. Поэтому можно утверждать, что критерий Найквиста, применяемый к режимным частотным характеристикам, может быть использован для исследования устойчивости «в малом» ЭЭС. Это позволяет эффективно использовать множество известных технологий применения критерия Найквиста для эффективного решения задач анализа и синтеза устройств автоматического регулирования ЭЭС.

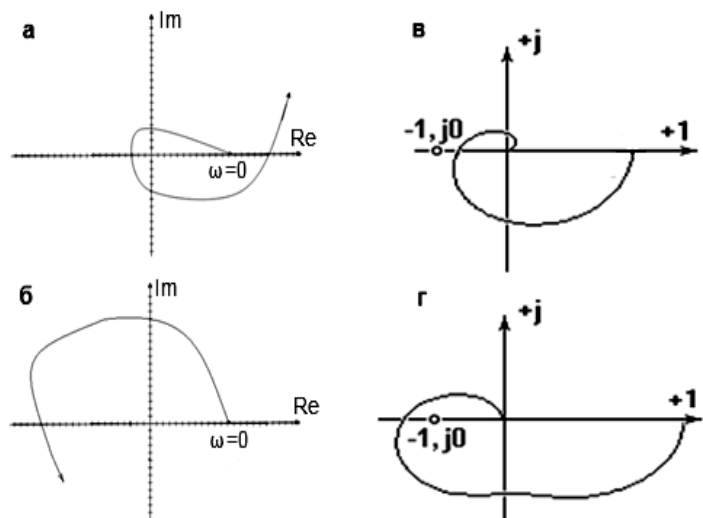


Рисунок 2 – а)-годограф Михайлова (система устойчива); б)-годограф Михайлова (система неустойчива); в)-АФЧХ устойчивой системы (по критерию Найквиста); г)-АФЧХ неустойчивой системы (по критерию Найквиста)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хрущев, Ю.В. Методы расчета устойчивости энергосистем: учеб. пособие / Ю.В. Хрущев. -Томск: STT, 2005. -176 с.
2 Веников, В.А. Электрические системы. Математические задачи энергетики / В.А. Веников, Э.Н. Зуев, И.В. Литкенс. -Изд. 2-е. -М.: Высш. шк., 1981. -288 с.
3 Чемоданов, Б.К. Математические основы теории автоматического регулирования: учеб. пособие / Б.К. Чемоданов. -М.: Высш. шк., 1971. -808 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электроэнергетическая система, статическая устойчивость, передаточная функция, частотная характеристика, критерий Найквиста*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Хрущев Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
Токарев Иван Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

О ФОРМИРОВАНИИ УСТАВОК И ОБЛАСТЕЙ СРАБАТЫВАНИЯ ИДЕНТИФИКАТОРОВ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА СИНХРОННЫХ МАШИН С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.Ф. Тонышев

ANALYTICAL STUDIES IDENTIFYING THE BOUNDARIES OF ASYNCHRONOUS MODES DIFFERENT IDENTIFIERS, THE EXISTENCE OF ASYNCHRONOUS MODE AND RESYNCHRONIZATION

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.F. Tonishev

Carried out analytical studies of the boundaries of identity asynchronous modes different identifiers, the existence of asynchronous mode and resynchronization.

Keywords: asynchronous mode, asynchronous course, the identification of instability

Приведены аналитические исследования границ областей идентификации асинхронных режимов различными идентификаторами, области существования асинхронных режимов и ресинхронизации.

Значительная часть недостатков, присущих идентификаторам асинхронного режима (ИАР) обусловлена неизменностью их уставок. В то же время режимные параметры синхронных машин могут изменяться в широком диапазоне в зависимости от причины асинхронного режима, состояния обмотки возбуждения, нагрузки и пр. Рядом авторов неоднократно указывалось на необходимость учета скольжения при формировании уставок.

В работах [1, 2] предложен общий подход оценки работоспособности защит синхронных машин от асинхронных режимов путем получения аналитических выражений, характеризующих граничные условия срабатывания различных ИАР при допущении постоянства среднего скольжения $S_{cp} = \text{Const}$ и отсутствии регулирования возбуждения. $E_q = \text{Const}$. Граничные кривые разделяют зоны асинхронного режима синхронной машины, когда соответствующие защиты идентифицируют возникновение, и зоны асинхронного хода, когда должна работать системная автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) на воздушных линиях то есть асинхронного хода.

Согласно определению асинхронного режима синхронных генераторов и его отличия от режима асинхронного хода по положению электрического центра качаний [2] абсолютно достоверную информацию о возникновении асинхронного режима дает ИАР по внутреннему углу синхронной машины между векторами напряжения статора синхронной машины и ЭДС. В то же время факт возникновения асинхронного режима, может быть установлен и на основании анализа косвенных режимных параметров статора (потребленной реактивной мощности Q , фазового угла между током и напряжением φ , тока статора I , сопротивления измеренного на выводах статора z , что часто оказывается технически более целесообразным. Оценку работоспособности ИАР с контролем косвенных режимных параметров можно получить на основе сопоставления их характеристик с характеристиками эталонного ИАР по внутреннему углу защищаемой синхронной машины δ -ИАР. Сравнивая выражения для граничных условий срабатывания абсолютного δ -ИАР и идентификаторов по косвенным режимным параметрам можно получить, как зоны пониженной чувствительности, когда ИАР по косвенным параметрам не срабатывают при срабатывании δ -ИАР, так и зоны неселектив-

ной работы, когда срабатывают некоторые ИАР по косвенным параметрам и не срабатывает δ -ИАР.

Анализ работы различных ИАР удобно проводить путем построения границ их срабатывания в плоскости режимных параметров $K_p = \frac{E_q}{U_0}$ характеризующих уровень остаточного возбуждения и S -скольжения, поскольку условия возникновения асинхронного режима определяются именно соотношением режимных параметров внешней сети и генератора при заданных значениях среднего скольжения.

Аналитические выражения граничных линий различных ИАР выглядят как.

Для идентификатора асинхронного режима ИАР по внутреннему углу [3] (кривая 1) рисунок 1

$$\frac{E_q}{U_0} \leq \frac{(x_r + x_{внешн}) |x_r(jS)|}{x_{внешн} [x_{внешн} + |x_r(jS)|]} \quad (1)$$

Для ИАР по реактивной мощности с отстройкой от режимов с недовозбуждением [4] (кривая 2)

$$\frac{E_q}{U_0} \leq \frac{(x_r + x_{внешн}) |x_r(jS)|}{x_{внешн} [x_{внешн} + |x_r(jS)|]} - \frac{x_r + x_{внешн}}{x_{внешн} + |x_r(jS)|} \quad (2)$$

Для ИАР по моделируемой ЭДС [5] (кривая 3)

$$\frac{E_q}{U_0} \leq x_\Sigma |Y_\Sigma(jS)| \quad (3)$$

где x_r – сопротивление генератора;

$x_{внешн}$ – внешнее сопротивление от шин генератора до ШБМ;

$x_r(jS)$ – частотная характеристика синхронного генератора.

Идентификаторы асинхронного режима по сопротивлению, измеренному на выводах генератора z -ИАР, нашли широкое применение в практике эксплуатации, для защиты турбогенераторов. В [2] показано, что граница срабатывания такого ИАР при правильной настройке совпадает с границей срабатывания абсолютного δ -ИАР, то есть с точки зрения отстройки от асинхронного хода эти идентификаторы идентичны абсолютным δ -идентификаторам.

В плоскости режимных параметров $E_q/U_0 ; S$ проведем прямую, параллельную оси S и проходящую через точки оси $E_{q_{ост}}/U_0$, соответствующую уровню остаточного возбуждения.

Из сопоставления границ областей срабатывания следует, что условия срабатывания выявителей асинхронного режима по косвенным режимным параметрам в общем случае не совпадают с условием срабатывания абсолютного δ -выявителя.

Например, выявитель по моделируемой ЭДС наряду с областью правильной работы I может иметь зону низкой чувствительности II и неселективной работы III.

Вышеприведенные выражения получены при $S = \text{Const}$ для широкого диапазона вариации режимных параметров

В действительности существует ряд реальных ограничений, которые могут весьма существенно сократить диапазон вариаций параметров $E_q/U_0 ; S$ в плоскости которых проводится сопоставление. В частности, максимальная величина $K_p = E_q/U_0$ определяется уров-

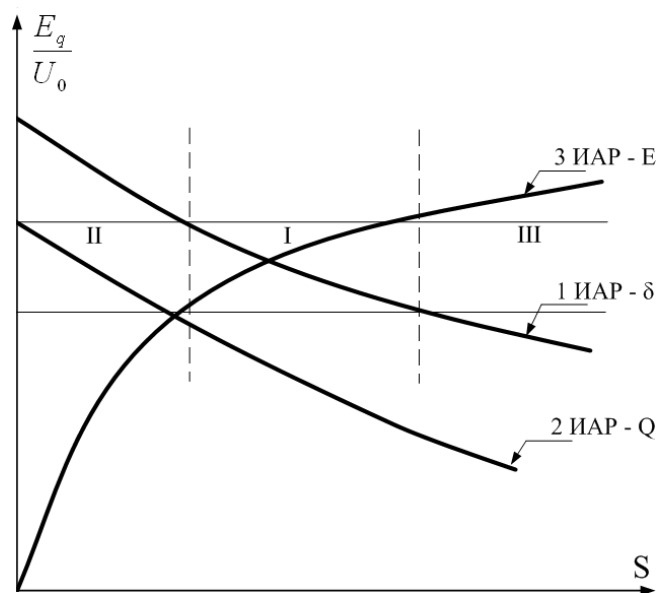


Рисунок 1 – Области срабатывания различных идентификаторов асинхронного режима при асинхронном ходе по электропередаче и при потере возбуждения

нем форсировки возбуждения синхронных машин и не превышает 3-4, то есть $K_p \leq 4$. С другой стороны, величины скольжений, при которых возможен установившийся асинхронный режим, ограничиваются значениями $S < S_{кр}$.

Помимо указанных ограничений по диапазону изменения координат $K_p = E_{q0}/U_0$; S необходимо учитывать и реально существующие ограничения области существования асинхронных режимов, определяемые возможными сочетаниями режимных параметров. Одним из таких ограничений являются реальные соотношения режимных параметров, которые характеризуют возможность возникновения установившихся асинхронных режимов. В нормальном режиме, предшествующем возникновению асинхронного режима, то есть при $S = 0$, условие сохранения устойчивости синхронной машины характеризуется известным соотношением загрузки машины P_0 и схемных и режимных параметров

$$P_0 \leq P_{np} = \frac{E_q U_0}{x_\Sigma}, \quad (4)$$

которое можно преобразовать к виду

$$K_p \geq x_\Sigma \frac{P_0}{U_0^2} \text{ с учетом } K_p = \frac{E_q}{U_0}.$$

Таким образом, условие

$$K_p \leq x_\Sigma \frac{P_0}{U_0^2}, \quad (5)$$

является условием нарушения статической устойчивости с возникновением либо асинхронного хода по электропередаче, либо асинхронного режима синхронной машины. Наступление установившегося асинхронного режима характеризуется балансом

$$P_{ПОСЛЕАВ} = P_{АС} = U_0^2 Jm Y_\Sigma(jS), \quad (6)$$

где в общем виде

$$P_{ПОСЛЕАВ} = P_0 (1 - K_{pc} S). \quad (7)$$

В частном случае отсутствия регулятора скорости

$$P_{ПОСЛЕАВ} = P_0.$$

Рассматривая совместно (5) и (7) имеем в общем виде условие возникновения асинхронного режима

$$K_p < \frac{U_0^2 Jm Y_\Sigma(jS)}{(1 - K_{pc} S) U_0^2 Y_{\Sigma 0}}. \quad (8)$$

При отсутствии регулятора скорости ($K_{pc} = 0$) выражение упрощается, принимая вид

$$K_p < \frac{Jm Y_\Sigma(jS)}{Y_\Sigma(0)}. \quad (9)$$

Условия (8), (9) возникновения асинхронных режимов являются частным случаем условий существования таких режимов до наступления возможной ресинхронизации при соответствующих изменениях схемных и режимных параметров.

Следовательно, более общим ограничением является область возможной ресинхронизации [6], которая при принятой модели движения $S = \text{Const}$ определяется выражением

$$S_{уст} \leq 5,65 \sqrt{\frac{M_{12}}{T_j}}.$$

Поскольку $M_{12} = \frac{U_1 U_2}{x_{12} \omega}$ или для наших условий $M_{12} = \frac{EU}{x_{12}(100-S)\omega_0}$ и вводя $K_p = \frac{E}{U_0}$, а так же учитывая, что $x_{12} = x_\Sigma$ имеем неравенство, определяющее границу области ресинхронизации как границу существования асинхронного режима или асинхронного хода сверху в виде

$$K_p \geq x_\Sigma T_j \left(\frac{S}{5,65 U_0} \right)^2 (100 - S). \quad (10)$$

При $S = 0$ условие (10) вырождается в $K_p = 0$.

Анализ выражения (10) на экстремум дает его значение

$$K_{P_ЭКСТР} = \frac{x_{\Sigma} T_j}{U_0^2} \left(\frac{S_{ЭКСТР}}{5,65} \right)^2 (100 - S_{ЭКСТР}),$$

при

$$S_{ЭКСТР} \approx 67\%.$$

Таким образом, значения $S_{ЭКСТР}$ и особенно $K_{ЭКСТР}$ значительно превышают диапазон существования асинхронных режимов для синхронных машин с реальными параметрами $x_{\Sigma} \approx 2$ о.е. и $T_j \approx 10$ с и не накладывают ограничений на проводимый анализ.

При $S = S_{кр}$ (для современных турбогенераторов обычно 0,25-0,5%) $K_p \approx 2,5-4$.

То есть наложение области ресинхронизации на область существования асинхронных режимов незначительно.

Область, лежащая выше граничной линии, определяемой соотношением (10) характеризуется срывом либо асинхронного хода по электропередаче, либо асинхронного режима синхронной машины с ее последующей ресинхронизацией.

Итак, область существования асинхронных режимов синхронных машин с учетом условий ресинхронизации, в которой должно быть обеспечено селективное срабатывание ИАР, определяется совокупностью границ 1 (рисунок 2), разделяющей области асинхронных режимов и асинхронного хода, с одной стороны, и граничной кривой – 2, очерчивающей область ресинхронизации в плоскости режимных параметров.

Условие селективного срабатывания ИАР внутри области, определяемой границей – 3, является необходимым. Условие селективности работы ИАР в соответствии с границами 1 и 2 является достаточным и именно оно должно быть положено в основу оценки работоспособности различных типов ИАР.

Построение областей срабатывания ИАР совместно с областью существования асинхронных режимов и областью ресинхронизации для реальных синхронных машин позволило сделать выводы:

1 При полной потере возбуждения $E_g = 0$ все сопоставляемые ИАР идентифицируют асинхронный режим.

2 Идентификатор по моделируемой E может иметь области ложного срабатывания при $x_{ВНЕШН} \geq x_d$, то есть для реальных условий эксплуатации.

3 Область ложного срабатывания ИАР- E может иметь место и при асинхронном ходе с закритическим скольжением $S > 4\%$.

Таким образом, наложение дополнительных ограничений при сопоставительном анализе ИАР позволяет уточнить прогноз их работоспособности при асинхронных режимах синхронных машин и асинхронном ходе в энергосистеме.

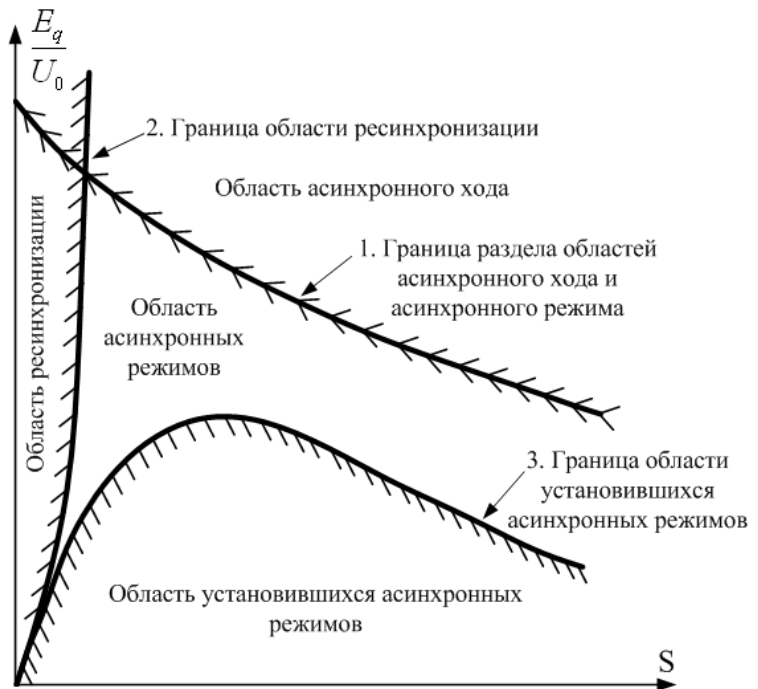


Рисунок 2 – Граничные линии характеризующие возникновение, существование, ликвидацию асинхронных режимов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Тонышев, В.Ф. Разработка новых типов выявительных органов защит синхронных генераторов от асинхронных режимов / В.Ф. Тонышев // Переходные процессы и устойчивость электроэнергетических систем: сб. науч. тр. / Гос. науч.-исслед. энерг. ин-т им. Г.М. Кржижановского. -М., 1982. -С. 9-18.
 2 Гамм, Б.З. Выявление асинхронного режима генератора по сопротивлению, измеренному на его выводах / Б.З. Гамм, В.Ф. Тонышев // Электричество. -1986. -№1. -С. 9-15.
 3 А.с. 395788 СССР, НИИ ЗГО1R25/00. Устройство для контроля угла выбега ротора генератора / Юрчакевич Е.Р., Андреев А.Д., Бинковский Н.Ф. (СССР). -№1614894/24-71; опубл. 28.08.73, Бюл. №35.
 4 Курилов, В.Ф. Применение реле мощности и реле сопротивления в качестве датчиков асинхронного режима турбогене-

раторов при потере возбуждения / В.Ф. Курилов // Электр. станции. -1975. -№5. -С. 64-67.

5 А.с. 463189 СССР, МКИ 3 H02J 3/24. Устройство защиты от потери возбуждения синхронного генератора / В.Ф. Александров, К.И. Лебедев, Г.И. Керре, Ф.Р. Федоров; Ленингр. район. энерг. упр. Ленэнерго (СССР). -№1867200 / 24-7; заявл. 05.01.73; опубл. 05.03.75, Бюл. №9.

6 Портной, М.Г. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости / М.Г. Портной. -М.: Энергия, 1978. -352 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асинхронный режим, асинхронный ход, идентификация неустойчивости

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Тоньшев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

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

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОМ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Е.В. Петрова, С.С. Гиршин, А.А. Бубенчиков, Н.В. Кириченко

ESTIMATION OF THE RESULTS RELIABILITY BY A PROGRAM COMPLEX MODELING FOR A CALCULATION OF LOSSES IN AIR-LINES TAKING INTO ACCOUNT OF THE VEINS TEMPERATURE

«Omsk state transport university»

E.V. Petrova, S.S. Girshin, A.A. Bubenchikov, N.V. Kirichenko

In article described the experimental researches spent for acknowledgement of results reliability modeling of an air-lines wires heating.

Keywords: losses, temperature, wire, an error

Выполнены экспериментальные исследования, проведенные для подтверждения достоверности результатов моделирования нагрева проводов воздушных линий электропередачи.

В настоящее время определение технологических потерь энергии в электрических сетях согласно [1] предусматривает при расчете активных сопротивлений учитывать температуру провода. Температура определяется режимными и климатическими факторами, в первую очередь, температурой окружающего воздуха $t_{\text{с}}$, плотностью рабочего тока, силой и направлением ветра, интенсивностью солнечной радиации.

Различные аспекты такого подхода рассмотрены в работах [2-6, 8]. При этом уравнения математической модели могут решаться итерационным методом [3, 4, 6], либо это решение базируется на аппроксимации температуры провода в зависимости от тока [2], либо используются другие приближенные уравнения [4, 6].

Условно все многообразие методов можно разбить на четыре группы:

- метод №1 [2];
- метод №2 [3, 5];
- метод №3 [4];
- метод №4 [6-8].

На базе созданных математических моделей и алгоритмов, проведенного анализа и обобщений в Омском государственном техническом университете на кафедре «Электро-снабжение промышленных предприятий» разработан комплекс программ расчета потерь энергии в проводах воздушных линий электроэнергетических систем [9], отличающийся возможностью сравнения методов №1-№4 и расчета для проводов новых типов, единством подготовки исходных данных и удобством анализа результатов вычислений.

Применение комплекса позволяет проводить сравнения используемых в настоящее время методов, анализировать границы применимости методов, повысить достоверность моделирования потерь энергии как в традиционных проводах воздушных линий электро-энергетических систем, так и в проводах нового поколения.

Для подтверждения достоверности теоретических результатов проведенных исследований и апробации программного комплекса был проведен ряд экспериментальных исследований. Измерения проводились на подстанции «Московка» 110/10 кВ. Объектом исследования являлись неизолированные провода воздушных линий электропередачи марки АС-240/39. Для повышения точности значений измеряемых параметров эксперимент проводился при постоянной нагрузке линии электропередачи, что позволяет уменьшить влияние динамики тепловых процессов на погрешность результатов эксперимента. Перечень оборудо-

вания, используемого при проведении экспериментов, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Основное оборудование для эксперимента

Измеряемая величина	Наименование оборудования	Приборная погрешность
Ток	Клещи токоизмерительные MASTECH MS2138	2,5%
Температура провода	Тепловизионный комплекс (тепловизор) NEC 7700TH	2%
Скорость ветра	Анемометр TESTO 416	1,5%
Атмосферное давление	Метеостанция МЭС 200 А	0,7%

Измеренное анемометром TESTO 416 изменение скорости ветра представлено на рисунке 1. Как следует из рисунка 1, скорость изменялась от 0 м/с до 7,2 м/с, причем основная доля мгновенных значений скорости ветра лежит в диапазоне от 0,4 м/с до 5 м/с. Среднеарифметическое значение скорости на этом интервале равно 2,8 м/с. Именно это значение использовалось в уравнениях математических моделей методов, реализованных в программном комплексе. Угол атаки ветра на измеряемом участке варьировался от 0° до 90°.

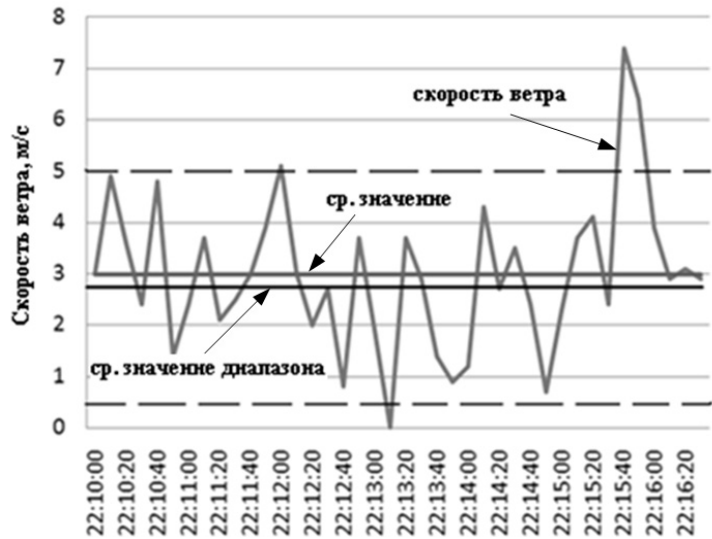


Рисунок 1 – Изменение скорости ветра

Результаты измерений температуры сравнивались с результатами численного моделирования по методу №1 и по методу №4. Кроме того, численное моделирование температуры осуществлялось также по методу №1(Y), который представляет измененную версию метода №1 и реализован в разработанном комплексе программ. Достоверность моделирования по методам №2 и №3 исследовалась в [4, 5] и в данной работе дополнительно не рассматривается. В отличие от метода №1 в методе №1(Y) используются уравнения [10]

$$I = \sqrt{\frac{\varepsilon C_0 [(273 + t_{np})^4 - (273 + t_s)^4] \pi d + \alpha_k [(t_{np} - t_{рад}) - t_s] \pi d}{0,95 R_{20} [1 + 0,004(t_s - 20)]}}; \quad (1)$$

$$t_{np2} = a_2 I^4 + b_2 I^2 + c_2, \quad (2)$$

которые заменили уравнения [2]

$$I = \sqrt{\frac{\varepsilon C_0 (273 + t_{np})^4 \pi d + \alpha_k [(t_{np} - t_{рад}) - t_s] \pi d}{0,95 R_{20} [1 + 0,004(t_s - 20)]}}; \quad (3)$$

$$t_{np} = a I^2 + b I + c, \quad (4)$$

где a, a_2, b, b_2, c, c_2 – коэффициенты аппроксимации;

t_{np} – температура провода, °C;

$t_{рад}$ – температура нагрева солнечной радиацией, °C;

t_s – температура воздуха, °C;

d – диаметр провода, м;

R_{20} – сопротивление провода при температуре 20 °C;

α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·K);

ε – степень черноты поверхности провода;

C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·K₄).

Подробное обоснование необходимости указанных изменений приводится в работе [10].

В численном эксперименте использовались следующие основные параметры:

– провод АС-240/39 (диаметр $d = 21,6 \cdot 10^{-3}$ м; $I = 610$ А, $R_{20} = 0,1222 \cdot 10^{-3}$ Ом/м);

- токовая нагрузка $I = 164,4$ А (плотность тока $0,7$ А/мм²);
 - температурный коэффициент электрического сопротивления $\alpha = 0,00403$ град⁻¹;
 - степень черноты поверхности провода ($\varepsilon = 0,6$ в методах №1(У) и №4; $\varepsilon = 0,13$ в методе №1);
 - поправочный коэффициент на угол атаки ветра ($k_v = 0,75$ в методах №1(У) и №4; $k_v = 0,5$ в методе №1);
 - измеренная температура провода (рисунок 2) $t_{пр.экс} = 29,8$ °С;
 - температура воздуха $t_g = 25,3$ °С;
 - атмосферное давление $99,2$ кПа;
 - скорость ветра $2,8$ м/с.
- В результате тепловизионной съемки были полученные следующие значения температур (рисунок 2).

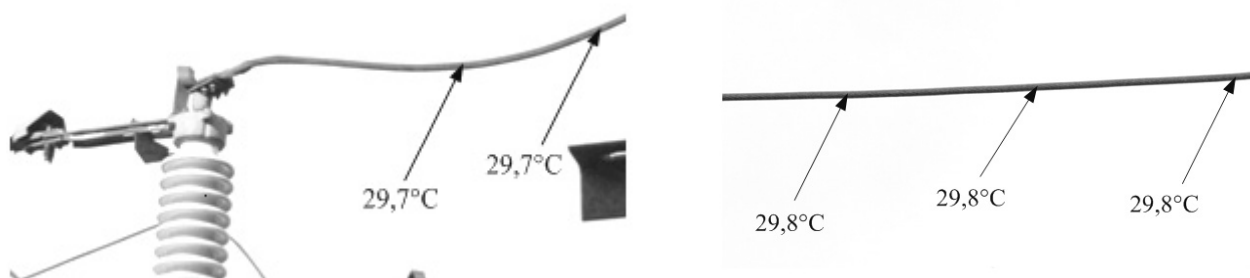


Рисунок 2 – Температура провода АС-240/39

Результаты численного моделирования и эксперимента представлены в таблицах 2-4. Погрешность моделирования температуры определялась по формуле

$$\delta_t = \frac{t_{пр.экс.} - t_{пр.рас.}}{t_{пр.экс.}} 100\%, \quad (5)$$

где $t_{пр.экс.}$ – температура провода, измеренная тепловизором NEC 7700TH;

$t_{пр.рас.}$ – температура провода, рассчитанная по соответствующим методам.

Таблица 2 – Результаты численного моделирования по методу №1(У)

Скорость ветра, м/с	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
Температура провода, °С	28,9	28,2	27,7	27,4	27,2	27	26,9	26,8	26,7	26,6	26,5	26,5	26,4	26,4
Погрешность δ_t , %	3,0	5,4	7,1	8,1	8,7	9,4	9,7	10,1	10,4	10,7	11,1	11,1	11,3	11,5

Таблица 3 – Результаты численного моделирования по методу №4

Скорость ветра, м/с	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
Температура провода, °С	29,2	28,5	28,1	27,8	27,6	27,5	27,3	27,2	27,1	27,0	26,9	26,9	26,8	26,7
Погрешность δ_t , %	2,01	4,36	5,60	6,71	7,38	7,72	8,39	8,72	9,09	9,43	9,66	9,9	10,1	10,3

Таблица 4 – Сравнение результатов расчета и экспериментальных измерений температуры провода АС-240/39

Наименование величин	Результаты численного моделирования		
	метод №1	метод №1(У)	метод №4
Степень черноты поверхности провода, отн. ед.	0,13	0,6	0,6
Поправочный коэффициент на угол атаки ветра	0,5	0,75	0,75
$t_{пр.экс.}/t_{пр.рас.}$, °С	29,8/25,4	29,8/26,42	29,8/26,79
$\Delta t = t_{пр.экс.} - t_{пр.рас.}$, °С	4,4	3,38	3,01
Погрешность моделирования, %	14,77	11,34	10,1

Как следует из представленных результатов погрешности расчета по усовершенствованным и созданным математическим моделям не превышают 15%, а разности экспериментальной и расчетных значений температур $4,4$ °С.

Подробное объяснение превышения реальной температуры над расчетной требует проведения дополнительных экспериментальных исследований. На данном этапе можно

предположить, что указанное превышение является результатом неучета в математической модели солнечного излучения.

В работе [11] предлагается не учитывать влияние солнечной радиации на $t_{пр}$ в зимнее время, а также в летнее и весенне-осеннее в период с 20 ч до 24 ч и с 24 ч до 7 ч.

Экспериментальные исследования проводились 31 мая 2011 года с 19:00 до 20:00 при закрытом облаками солнцем. Вместе с тем не исключено воздействие на исследуемые провода излучения, рассеянного атмосферой и облаками, а также излучения окружающих нагретых тел, температура которых превышает температуру воздуха.

Используя уравнение

$$\delta = \frac{R_{пр.экс.} - R_{пр.рас.}}{R_{пр.экс.}} 100\% = \frac{R_{пр.экс.} - R_{пр.экс.} [1 + \alpha(t_{пр.рас.} - t_{пр.экс.})]}{R_{пр.экс.}} 100\% = \alpha(t_{пр.экс.} - t_{пр.рас.}) 100\%,$$

найдем, что диапазон изменения сопротивления, соответствующий 4,4 °С составляет 1,76%. Это означает, что при определении потерь мощности по формуле

$$\Delta P_t = I^2 R_t,$$

и, соответственно, потерь электрической энергии погрешность будет также составлять 1,76%, что вполне приемлемо при инженерных расчетах.

Представленные результаты соответствуют плотности тока 0,7 А/мм². Эти результаты хорошо согласуются с данными численного моделирования потерь мощности для вынужденной конвекции в зависимости от сечения провода, представленными на рисунке 3 [12].

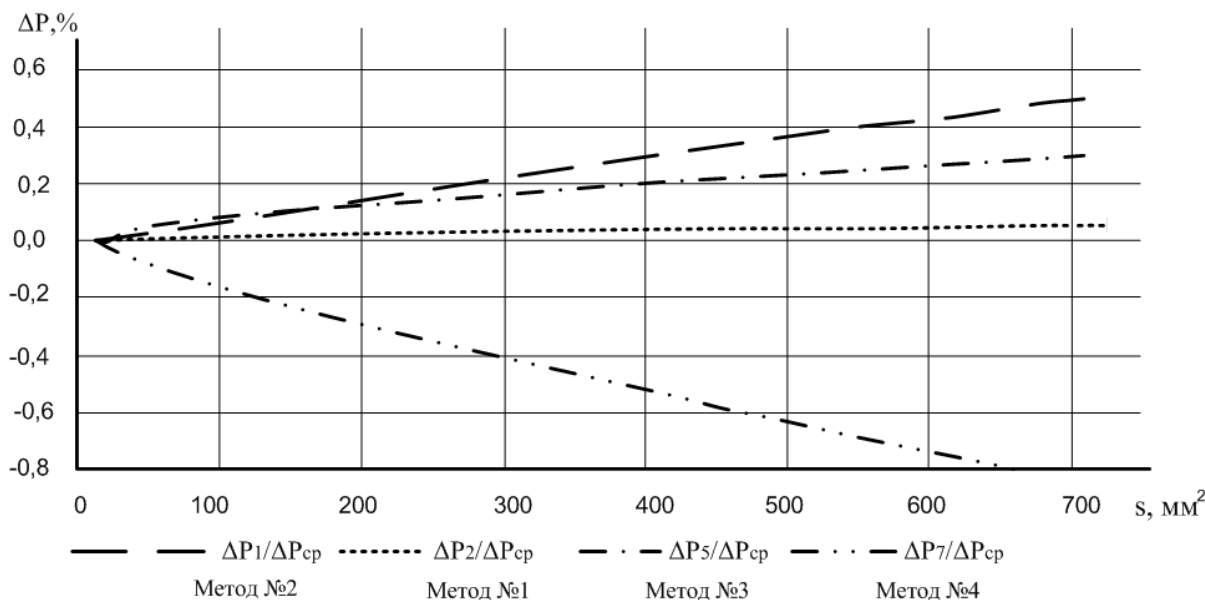


Рисунок 3 – Отклонение потерь мощности ΔP от среднего значения $\Delta P_{ср}$ при скорости 3 м/с, для плотности тока 1 А/мм²

Как следует из рисунка 3 для аналогичных условий (сечение провода 240 мм²) отклонение потерь мощности от среднего для всех четырех методов не превышает 0,4%.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта №16.516.11.6091 Министерства образования и науки Российской Федерации от 08 июля 2011 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инструкция по организации в Министерстве энергетики РФ работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям: утв. приказом Минэнерго РФ от 30.12.2008, №326.
- 2 Воротницкий, В.Э. Оценка погрешностей расчета потерь электроэнергии в ВЛ из-за неучёта метеоусловий / В.Э. Воротницкий, О.В. Туркина // Электр. станции. -2008. -№10. -С. 42-49.
- 3 Герасименко, А.А. Учет схемно-режимных и атмосферных факторов при расчете технологических потерь электроэнергии в распределительных сетях / А.А. Герасименко, Г.С. Тимофеев, А.В. Тихонович // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Сер. Техника и технологии. -2008. -№1(2). -С. 188-206.
- 4 Зарудский, Г.К. Уточнение выражений для расчета температуры проводов воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения / Г.К. Зарудский, С.Ю. Сыромятников // Вестн. МЭИ. Электроэнергетика. -2008. -№2. -С. 37-42.
- 5 Левченко, И.И. Нагрузочная способность воздушных линий электропередачи в экстремальных погодных условиях / И.И. Левченко, Е.И. Сацук // Электричество. -2008. -№4. -С. 2-8.
- 6 Математическая модель расчета потерь мощности в изолированных проводах с учетом температуры / С.С. Гиршин [и др.] // Омск. науч. вестн. -2009. -№3(83). -С. 176-179.

7 Совершенствование методов расчета потерь электроэнергии в линиях электропередачи на основе математических моделей, учитывающих температуру проводов / А.А. Бубенчиков [и др.]; Омск. гос. техн. ун-т. -Омск, 2009. -19 с. – Деп. в ВИНТИ 30.09.09, N 609-B2009.

8 Уточнение метода расчета температуры провода при постоянной нагрузке с учетом климатических факторов / В.Н. Горюнов [и др.] / ОмГТУ. -Омск, 2010. -23 с. -Деп. в ВИНТИ 08.04.10, № 198-B2010.

9 Петрова, Е.В. Разработка комплекса программ сравнения методов расчета потерь электрической энергии в воздушных линиях электроэнергетических систем с учетом режимных и климатических факторов / Е.В. Петрова, А.А. Бубенчиков, В.Н. Горюнов, В.А. Мазжерин // Энергетика и энергосбережение: межвуз. темат. сб. науч. тр. / ОмГТУ. -Омск, 2011. -С. 201-210.

10 Уточнение формул для анализа температуры проводов ВЛ в задачах расчета потерь электрической энергии / А.А. Бубенчиков, А.А. Вырва, С.С. Гиршин, В.Н. Горюнов, Е.В. Петрова // Омск. науч. вестн. -2010. -№1(87). -С. 120-126.

11 Никифоров, Е.П. Предельно допустимые токовые нагрузки на провода действующих ВЛ с учетом нагрева проводов солнечной радиацией / Е.П. Никифоров // Электр. станции. -2006. -№7. -С. 56-59.

12 Сравнение современных методов расчета потерь мощности в воздушных линиях электропередачи с учетом погодных условий / А.А. Бубенчиков, С.С. Гиршин, В.Н. Горюнов, Е.В. Петрова // Энергоэффективность: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ОмГТУ. -Омск, 2010. -С. 79-84.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *потери, температура, провод, погрешность*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Петрова Елена Владимировна, ассистент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»*
Гиршин Станислав Сергеевич, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Бубенчиков Антон Анатольевич, ст. преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Кириченко Николай Васильевич, ассистент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»*

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Е.В. Петрова

MATHEMATICAL MODELS FOR THE POWER LOSSES ANALYSIS IN AIR-LINES WIRES TAKING INTO ACCOUNT OF THE VEINS TEMPERATURE

«Omsk state transport university»
 E.V. Petrova

In article received expressions for calculation of the temperature of an external surface of isolation. Ways of definition of heat transfers factor by radiation are offered.

Keywords: isolated wire, model, capacity losses, a convection, radiation, temperature

Получены выражения для расчета температуры наружной поверхности изоляции провода. Предложены способы определения коэффициента теплоотдачи излучением.

Рассмотрим часть сечения, находящегося в воздухе, цилиндрического провода бесконечной длины радиусом r_1 с изоляцией толщиной $r_2 - r_1$ (рисунок 1).

Обозначим температуры токоведущей жилы, наружной поверхности провода и окружающей среды (воздуха) соответственно $t_{пр}$, $t_{нар}$ и $t_с$. Зададим также коэффициенты теплопроводности провода – $\lambda_{пр}$, изоляции – $\lambda_{из}$ и окружающей среды (воздуха) – $\lambda_с$.

Предположим постоянство температуры окружающего провод воздуха $t_с$ и неизменность по всей наружной поверхности провода коэффициента теплоотдачи. Указанные допущения определяют возможность считать температуру во всех точках поверхности провода одинаковой, а также одномерность и симметричность задачи.

Уравнение теплопроводности в стационарном режиме может быть представлено в виде [1]

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} + \frac{q_v}{\lambda} = 0. \tag{1}$$

где λ – коэффициент теплопроводности;
 q_v – объемная плотность тепловыделения.

Допустим, что объемная плотность тепловыделения в изоляции $q_{v,из} = 0$, что соответ-

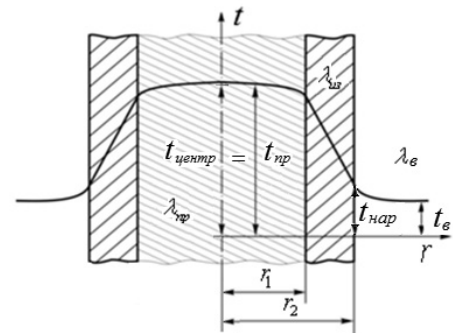


Рисунок 1 – Сечение провода воздушной линии электропередачи

вует случаю отсутствия диэлектрических потерь. Допустим также, что по всему сечению токопроводящей жилы имеются внутренние источники тепла с плотностью

$$q_{v, np} = \frac{I^2 \rho_{20} [1 + \alpha (t_{np} - 20)]}{F^2}, \quad (2)$$

где F – площадь поперечного сечения токопроводящей жилы;
 ρ_{20} – удельное сопротивление проводника при температуре 20 °С.

Принятое допущение является следствием неучета явлений поверхностного эффекта и эффекта близости, которые целесообразно принимать во внимание только для медных жил с сечением 300 мм² и более [2].

Для рассматриваемого случая после интегрирования уравнения (1), а также математических преобразований с использованием граничных условий и закона Фурье [3] можно получить соотношение, описывающее изменение температуры в изоляции

$$\Delta t_{us} = t_{np} - t_{нар} = \frac{q_{v, np} r_1^2}{2\lambda_{us}} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (3)$$

Воспользуемся соотношением (3) для вывода формул расчета потерь мощности в проводах воздушных линий с учетом температуры токопроводящих жил.

Потери активной мощности в токопроводящей жиле (см. рисунок 1) соответствуют уравнению

$$\Delta P_t = \pi r_1^2 q_{v, np}. \quad (4)$$

Зависимость сопротивления R_t от температуры позволяет представить потери ΔP_t в виде

$$\Delta P_t = I^2 R_t = I^2 R_{20} (1 - 20\alpha)(1 + \alpha t_{np}) = \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)(1 + \alpha t_{np}), \quad (5)$$

где I – величина тока в проводнике;

R_t – активное сопротивление провода при температуре t °С;

R_0 – активное сопротивление провода при 0 °С;

α – температурный коэффициент активного сопротивления алюминиевых проводов;

ΔP_{20} – потери активной мощности, рассчитанные по сопротивлению, приведенному к температуре 20 °С,

$$\Delta P_{20} = I^2 R_{20}.$$

Подставив (4) и (5) в уравнение (3) можно получить

$$t_{нар} = t_{np} - \frac{\Delta P_{20} (1 - 20\alpha)(1 + \alpha t_{np})}{2\pi \lambda_{us}} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (6)$$

Выражение

$$S_{us} = \frac{1}{2\pi \lambda_{us}} \ln \frac{r_2}{r_1},$$

можно трактовать как тепловое сопротивление изоляции [2]. В этом случае (6) можно преобразовать к уравнению

$$t_{нар} = -\Delta P_{20} (1 - 20\alpha) S_{us} + t_{np} [1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)],$$

из которого найдем температуру провода

$$t_{np} = \frac{t_{нар} + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) S_{us}}{1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)}. \quad (7)$$

Для установившегося теплового режима количество теплоты, получаемого проводом на единицу длины и в единицу времени, равно количеству тепла, отведенного с поверхности провода в окружающую среду и описывается уравнением теплового баланса следующего вида [4]

$$\Delta P_t + P_M + P_s = P_K + P_R + P_W, \quad (8)$$

где P_M – количество тепла, обусловленное вихревыми токами и гистерезисом в материалах провода;

P_s – количество теплоты, получаемого за счет нагрева солнцем;

P_K, P_R, P_W – количество отдаваемой теплоты за счет конвекции, излучения и испарения.

В практических расчетах значениями P_M и P_W обычно пренебрегают. В результате тепловой поток, отдаваемый в окружающую среду с поверхности провода, может быть пред-

ставлен в виде

$$P_S + \Delta P_t = (\alpha_k + \alpha_u) F_{пов} \Delta t_{нар}, \quad (9)$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией;

α_u – коэффициент теплоотдачи излучением;

$F_{пов}$ – площадь внешней поверхности провода;

$\Delta t_{нар}$ – превышение температуры наружной поверхности провода над температурой воздуха t_g (см. рисунок 1),

$$\Delta t_{нар} = t_{нар} - t_g.$$

При скорости ветра равной нулю (при естественной конвекции) коэффициент теплоотдачи зависит от температуры наружной поверхности изоляции [5]. На практике скорость ветра, как правило, отлична от нуля и наблюдается вынужденная конвекция, при которой коэффициент теплоотдачи от температуры наружной поверхности провода не зависит.

Коэффициент теплоотдачи излучением α_u всегда зависит от температуры наружной поверхности излучающего тела. Приближенно α_u может быть выражен линейной функцией, зависящей от $\Delta t_{нар}$ [2]

$$\alpha_u = \alpha'_u + \alpha''_u \Delta t_{нар}, \quad (10)$$

где α'_u, α''_u – коэффициенты, определяемые абсолютной температурой среды, степенью черноты поверхности излучающего тела и постоянной абсолютно черного тела.

В случае вынужденной конвекции уравнение теплового баланса (9) с учетом (5) и (10) можно привести к виду

$$P_S + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) (1 + \alpha t_{пр}) = F_{пов} (\alpha_k + \alpha'_u + \alpha''_u \Delta t_{нар}) \Delta t_{нар}. \quad (11)$$

Используя соотношение (7), преобразуем левую часть уравнения (11) к виду

$$P_S + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) \left[1 + \alpha \frac{t_{нар} + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) S_{us}}{1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)} \right].$$

Приведем выражение в скобках к общему знаменателю

$$P_S + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) \left[\frac{1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) + \alpha t_{нар} + \alpha \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) S_{us}}{1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)} \right].$$

Проведя естественные сокращения и заменив $t_{нар}$ через температуру воздуха t_g , получим соотношение вида

$$P_S + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) \left[\frac{1 + \alpha (\Delta t_{нар} + t_g)}{1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)} \right] = F_{пов} (\alpha_k + \alpha'_u + \alpha''_u \Delta t_{нар}) \Delta t_{нар}.$$

Умножив правую и левую части на $1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)$, получим уравнение

$$P_S [1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)] + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) (1 + \alpha t_g) + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) \alpha \Delta t_{нар} = F_{пов} [1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)] (\alpha_k + \alpha'_u + \alpha''_u \Delta t_{нар}) \Delta t_{нар}. \quad (12)$$

Преобразуем уравнение (12) к квадратному уравнению вида

$$\Delta t_{нар}^2 \alpha''_u F_{пов} [1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)] + \Delta t_{нар} \{ (\alpha_k + \alpha'_u) F_{пов} [1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)] - \alpha \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) \} + P_S [1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)] - \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) (1 + \alpha t_g) = 0. \quad (13)$$

Введя для коэффициентов уравнения (13) обозначения

$$A = \alpha''_u F_{пов} [1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)]; \quad (14)$$

$$B = (\alpha_k + \alpha'_u) F_{пов} [1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)] - \alpha \Delta P_{20} (1 - 20\alpha); \quad (15)$$

$$K_S = P_S [1 - \alpha S_{us} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)], \quad (16)$$

получим квадратное уравнение вида

$$A \Delta t_{нар}^2 + B \Delta t_{нар} + K_S - \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) (1 + \alpha t_g) = 0. \quad (17)$$

Решением (17) относительно переменной $\Delta t_{нар}$ является выражение

$$t_{нар} = t_g + \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4A [K_S - \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) (1 + \alpha t_g)]}}{2A}. \quad (18)$$

Использование второго корня квадратного уравнения (17) лишено физического смысла.

В этом случае температура наружной поверхности изоляции всегда будет меньше температуры окружающего воздуха.

В общем случае для реальных условий эксплуатации проводов воздушных линий можно предположить сложную зависимость коэффициентов теплового излучения и конвекции от температуры, то есть $\alpha_k = (t_{нар})$ и $\alpha_u = (t_{нар})$. Для указанного случая соотношение (9) аналогично выводу (12) может быть преобразовано к виду

$$\begin{aligned} K_S + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)(1 + \alpha t_s) + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha) \alpha \Delta t_{нар} = \\ = F_{пов} (1 - \alpha S_{уз} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)) [\alpha_k (t_{нар}) + \alpha_u (t_{нар})] \Delta t_{нар}. \end{aligned} \quad (19)$$

Значение $\Delta t_{нар}$ может быть определено согласно соотношению

$$\Delta t_{нар} = \frac{K_S + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)(1 + \alpha t_s)}{F_{пов} [1 - \alpha S_{уз} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)] [\alpha_k (t_{нар}) + \alpha_u (t_{нар})] - \alpha \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)}.$$

Данное уравнение может быть решено итерационным методом на основе формулы

$$t_{нар}^{[k+1]} = t_s + \frac{K_S + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)(1 + \alpha t_s)}{F_{пов} [1 - \alpha S_{уз} \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)] [\alpha_k (t_{нар}^{[k]}) + \alpha_u (t_{нар}^{[k]})] - \alpha \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)}, \quad (20)$$

где k – номер итерации.

Для неизолированных проводов выполняются соотношения

$$\begin{aligned} r_1 = r_2; \\ S_{уз} = 0; \\ t_{нар} = t_{пр}. \end{aligned} \quad (21)$$

Выражения (14)-(18), (20) с учетом (21) упрощаются и соответственно преобразуются к уравнениям:

$$A' = \alpha_u'' F_{пов}; \quad (22)$$

$$\begin{aligned} B' = (\alpha_k + \alpha_u') F_{пов} - \\ - \alpha \Delta P_{20} (1 - 20\alpha); \end{aligned} \quad (23)$$

$$K_S' = P_S; \quad (24)$$

$$\begin{aligned} A' \Delta t_{нар}^2 + B' \Delta t_{нар} + P_S - \\ - \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)(1 + \alpha t_s) = 0; \end{aligned} \quad (25)$$

$$t_{нар} = t_s + \frac{-B' + \sqrt{B'^2 - 4A'[P_S - \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)(1 + \alpha t_s)]}}{2A'}; \quad (26)$$

$$t_{нар}^{[k+1]} = t_s + \frac{P_S + \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)(1 + \alpha t_s)}{F_{пов} [\alpha_k (t_{нар}^{[k]}) + \alpha_u (t_{нар}^{[k]})] - \alpha \Delta P_{20} (1 - 20\alpha)}. \quad (27)$$

Полученные выражения (18), (20), (26) и (27) для определения $t_{нар}$ в зависимости от конкретных принятых допущений могут использоваться для расчета температур провода и потерь мощности на единицу длины согласно уравнениям (7) и (5). Практическая реализация предложенного подхода связана с необходимостью нахождения соответствующих выражений для вычисления коэффициентов α_k и α_u .

Работа выполнена в рамках Государственного контракта №16.516.11.6091 Министерства образования и науки Российской Федерации от 08 июля 2011 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Исаченко, В.П. Теплопередача: учеб. для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. -3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975. -488 с.
- 2 Пешков, И.Б. Основы кабельной техники / И.Б. Пешков; под ред. И.Б. Пешкова. -М.: Академия, 2006. -432 с.
- 3 Анализ распределения температуры по сечению самонесущих изолированных проводов / А.А. Бубенчиков, В.Н. Горюнов, С.С. Гиршин, Е.В. Петрова // Омск. науч. вестн. -2009. -№3(83). -С. 171-175.
- 4 Morgan, V.T. The thermal rating of overhead-line conductors. P.II. A sensitivity analysis of the parameters in the steady-state thermal model / V.T. Morgan // Electr. Power Syst. -1983. -Res.6. -P. 287-300.
- 5 Термодинамика и теплопередача / А.В. Болгарский [и др.]. -М. : Высш. шк., 1975. -495 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: изолированный провод, модель, потери мощности, конвекция, излучение, температура
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Петрова Елена Владимировна, ассистент ГОУ ВПО «ОмГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ГОУ ВПО «ОмГТУ»

О МЕТОДИКЕ К ВЫБОРУ ТИПА ЭЛЕКТРОМАГНИТА ПО ЗНАЧЕНИЯМ КОНСТРУКТИВНОГО ФАКТОРА

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.Ю. Нейман, Л.А. Нейман, А.А. Петрова

ON A METHOD OF THE CHOICE OF THE ELECTROMAGNET THE ACCORDING TO A DESIGN FACTOR

«Novosibirsk state technical university»

V.Yu. Neyman, L.A. Neyman, A.A. Petrova

An example of sucking DC electromagnet with truncated-cone operating air-gap has demonstrated it is possible to consider more accurately constructive parameters and application limits.

Keywords: DC electromagnet, magnetic field simulation, constructive parameters

На примере расчета втяжного электромагнита постоянного тока с усеченно-коническим рабочим зазором показана возможность более точного учета конструктивных параметров и границ рационального использования.

Понятие так называемого «конструктивного фактора», широко используемое для выбора типа электромагнита, получило свое развитие в известных работах [1, 2]. Однако влияние температуры нагрева обмотки электромагнита на величину конструктивного фактора и, следовательно, на пределы его рационального выбора в настоящий момент не установлено.

В этой связи представляет практический интерес установить степень влияния нагрева обмотки электромагнита на величину конструктивного фактора. Результаты этих исследований выполнены с помощью конечно-элементного моделирования магнитного поля в программе FEMM [3, 4].

На рисунке 1 приведен эскиз одного из базовых вариантов типовой цилиндрической конструкции электромагнита объема $V(M 1:1)$ и все необходимые для моделирования размеры магнитной системы. Количество витков обмотки возбуждения $w = 1800$. Материал магнитопровода – конструкционная сталь, характеристика намагничивания стали приведена на рисунке 2.

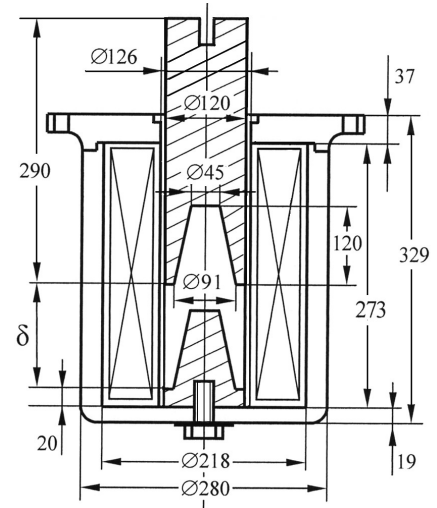


Рисунок 1 – Эскиз электромагнита усеченно-коническим рабочим зазором

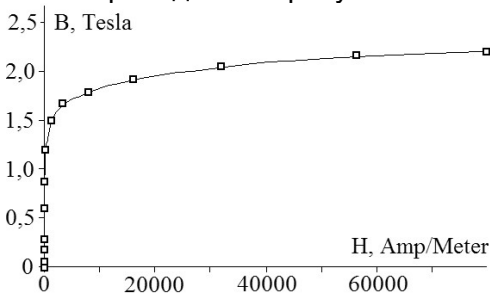


Рисунок 2 – Характеристика намагничивания стали

Расчеты магнитной цепи проводились с построением картин магнитного поля. Значение тяговых усилий для различных положений якоря определялись через интегральные характеристики поля (рисунок 3).

Результаты обработки статических тяговых характеристик в виде зависимостей условной механической работы $A_y = F_{эм}(x) \cdot x$ приведены на рисунке 4.

Величина намагничивающей силы обмотки в длительном режиме определялась из условия допустимого перегрева по выражению

$$I_w = \sqrt{\frac{2k_m \tau S_{окн} k_s I_{об}}{\rho}}, \quad (1)$$

- где k_τ – коэффициент теплоотдачи;
 τ – температура перегрева обмотки;
 $S_{окн}$ – сечение окна обмоточного пространства;
 $I_{об}$ – длина обмотки;

k_3 – коэффициент заполнения обмоточного пространства;
 ρ – удельное сопротивление материала обмотки.

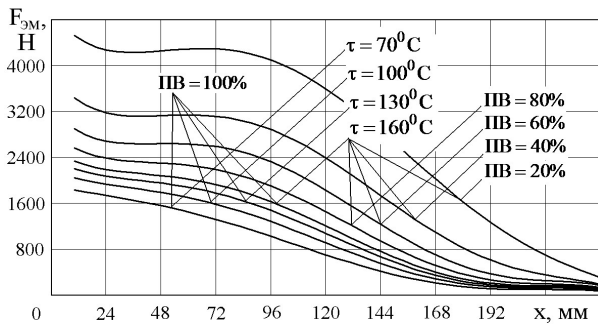


Рисунок 3 – Расчетные тяговые характеристики модели

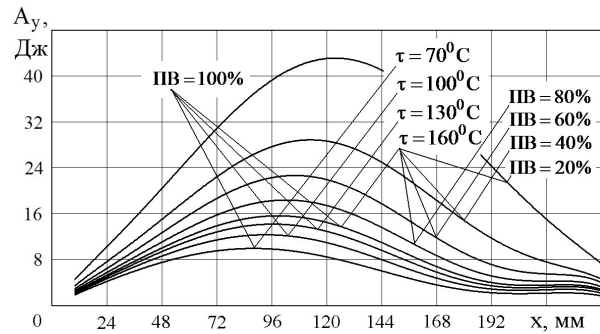


Рисунок 4 – Зависимости условной работы

При повторно-кратковременном протекании тока по обмотке расчет намагничивающей силы выполнялся по выражению

$$I_w = \sqrt{\frac{100}{ПВ\%}} \sqrt{\frac{2k_m \tau S_{окн} k_3 I_{об}}{\rho}}, \quad (2)$$

где ПВ% – относительная продолжительность включения в процентах, представляющая отношение времени включения t_b к времени продолжительности цикла $t_{ц}$

$$ПВ\% = \frac{t_b}{t_{ц}} \cdot 100.$$

В выражениях (1) и (2) предполагается, что теплоотвод осуществляется с наружной и внутренней поверхностями обмотки, охлаждением с торцов пренебрегают.

Удельное сопротивление ρ материала проводника определялось по допустимой средней температуре нагрева обмотки

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha_0 \tau_{доп}),$$

где ρ_0 – удельное сопротивление материала проводника при температуре окружающей среды;

α_0 – температурный коэффициент материала проводника;

$\tau_{доп}$ – допустимая температура нагрева материала проводника

$$\tau_{доп} = \tau + t_{окр}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Рассчитанные по выражениям (1) и (2) значения полной намагничивающей силы для установленного диапазона перегрева базовой конструкции приведены в таблице.

Таблица – Параметры для моделирования

$\tau, \text{ } ^\circ\text{C}$	70	100	130	160	160	160	160	160
$\tau_{доп}, \text{ } ^\circ\text{C}$	90	120	150	180	180	180	180	180
ПВ%	100	100	100	100	80	60	40	20
ρ	2,24	2,45	2,65	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86
$I_w, \text{ A}$	13270	15180	1662	17760	1985	22920	28080	39700

На рисунке 5 построены зависимости изменения показателя экономичности электромагнита в функции конструктивного фактора $D = f(K\Phi)$ для ряда значений установленного перегрева приведенных в таблице.

Введенный показатель экономичности позволяет дать сравнительную оценку в отношении расхода конструкционного материала [1, 2]

$$D(x) = \frac{M_{эм}}{A_y}, \quad (3)$$

где $M_{эм}$ – вес электромагнита.

С уменьшением добротности экономичность устройства повышается.

Разделяя в (3) массу активных частей электромагнита по удельному весу материала

получим

$$D(x) = \frac{k_3 V_M g_M + V_{cm} g_{cm}}{F(x) \cdot x},$$

где V_M, V_{cm} – объем меди и стали электромагнита;

g_M, g_{cm} – удельный вес меди и стали.

Для электромагнита объема $V(M 1:1)$ имеем: $V_M = 6,68 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $V_{cm} = 13,76 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $k_3 = 0,7$; $g_M = 8600 \text{ кг/м}^3$; $g_{cm} = 7800 \text{ кг/м}^3$.

Из анализа зависимостей (см. рисунок 5) следует, что увеличение перегрева оказывает существенное влияние на показатель экономичности в сторону его улучшения. Если оценивать по максимальным значениям показателя $D(x)$, то влияние перегрева на конструктивный фактор незначительно. С увеличением перегрева наблюдается некоторое изменение КФ в сторону его роста (рисунок 6). Учитывая факт того, что для основных типов электромагнитов конструктивный фактор колеблется в широком диапазоне значений $50\text{-}600000 \sqrt{\text{Н/м}}$, то вполне очевидно, что этим влиянием следует пренебречь хотя бы на этапе предварительного расчета.

Расчет экономичности электромагнита с повышением температуры установившегося перегрева при сохранении основных размеров и сечений факт известный.

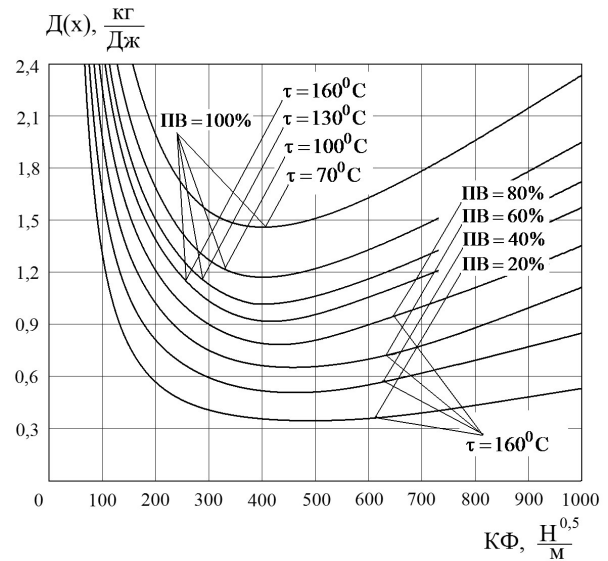


Рисунок 5 – Влияние перегрева от режима включения

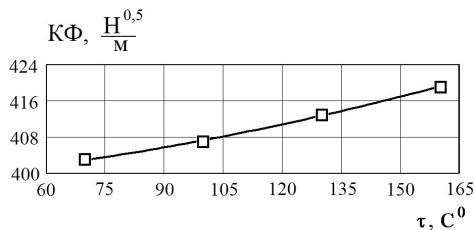


Рисунок 6 – Зависимость конструктивного показателя от перегрева

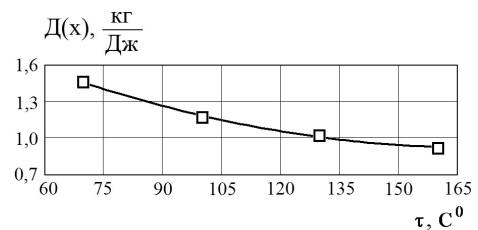


Рисунок 7 – Зависимость экономичности от перегрева

Повышение перегрева непосредственно связано с увеличением индукции, что позволяет повысить полезную работу на единицу веса электромагнита. Зависимость экономичности от перегрева показана на рисунке 7.

Выводы.

1 Выбор типа электромагнита целесообразно вести по широко распространенным в практике значениям конструктивного фактора, используя установленные связи между условиями максимального выигрыша с одной стороны и конструктивным исполнением и основными геометрическими соотношениями размеров с другой стороны.

2 По результатам расчета магнитного поля типовой конструкции цилиндрического электромагнита получены зависимости, позволяющие оценить влияние перегрева на значение конструктивного фактора из условия его экономичности.

3 Влияние перегрева обмоток электромагнита на значение конструктивного фактора незначительно. В значительной степени от указанных величин зависит показатель экономичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гордон, А.В. Электромагниты постоянного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960. -447 с.
 2 Казаков, Л.А. Электромагнитные устройства радиоэлектронной аппаратуры / Л.А. Казаков. -М.: Сов. радио, 1978. -168 с.
 3 Буль, О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: Магнитные цепи, поля и программа FEMM: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.Б. Буль. -М.: Академия, 2005. -336 с.

4 Neyman, V.Yu. Calculation of efficiency of a DC power electromagnet for mechanotronic systems / V.Yu. Neyman, L.A. Neyman, A.A. Petrova // The Third International Forum on Strategic Technologies: proc. of IFOST-2008. -Novosibirsk, 2008. - P. 452-454.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электромагнит, моделирование электромагнитного поля, конструктивный фактор*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Нейман Владимир Юрьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»*
Нейман Людмила Андреевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Петрова Анна Анатольевна, ассистент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕСТНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УДАЛЁННЫХ ОБЪЕКТОВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Дзюба

VOLTAGE DEVIATIONS IN LOCAL POWER EXTRACTION SYSTEMS OBJECTS

«Novosibirsk state academy of water transport»

P.A. Dzuba

The algorithm of definition conduction electromagnetic hindrances on the established deviation of pressure is stated. Results of their measurements and calculations in a local electropower system are analyzed. The example of suppression of these hindrances is resulted.

Keywords: an electric network an electromagnetic hindrance, suppression, a pressure deviation

Излагается алгоритм определения кондуктивных электромагнитных помех по установившемуся отклонению напряжения. Анализируются результаты их измерений и расчётов в местной электроэнергетической системе. Приведён пример подавления этих помех.

Нарастающие темпы добычи, транспортировки и первичной переработки природных ресурсов (нефть, газ, полиметаллы, алмазы и т.д.) в удалённых районах Сибири и Дальнего Востока России обуславливают интенсивную их электрификацию. В этих районах сети напряжением 110 кВ и выше теряют свойства системообразующих линий электропередачи и выполняют функции подачи напряжения от одного источника питания. Режим их работы связан с особенностями приёмников электрической энергии, обусловленными технологическими процессами и характером воздействия окружающей среды.

Для повышения энергетической безопасности этих регионов создаются местные электроэнергетические системы (ЭЭС) с электростанциями собственных нужд (ЭСН) типов ПАЭС-2500 М, ПАЭС-2500 и др. [1]. Кроме этого, на случай полного «погашения» напряжения в ЭЭС, для потребителей 1-й и особой групп категории надёжности (компрессорные станции, станции охлаждения газа, вахтовые посёлки и т.д.) устанавливаются дизельные электростанции типа БЭС-630, КАС-500 и др. Сети среднего напряжения (от 6 до 35 кВ) этих ЭЭС не имеют научно-обоснованных оперативных схем и режимов их работы [2].

В тоже время обеспечение нормируемых уровней электромагнитной совместимости (ЭМС) для кондуктивной электромагнитной помехи (ЭМП) по отклонению напряжения является сложной задачей [3]. Отклонение напряжения как показатель качества электроэнергии (КЭ) является часто нарушенным.

По ГОСТ 13109-97 требуется соблюдение уровней ЭМС технических средств. Нормальная работа их необходима: для обеспечения мероприятий по защите жизни и здоровья граждан. Имущества физических и юридических лиц, государственного имущества, по охране окружающей среды; для повышения технико-экономических показателей производств и качества выпускаемой продукции [4, 5].

В связи с этим в данной статье решается задача по обеспечению ЭМС в местных ЭЭС методами теории кондуктивных ЭМП, распространяющихся по проводам, и теории замкнутых сетей [3, 5].

Методический подход к оценке отклонений напряжения. Отклонение напряжения определяется показателем установившегося отклонения напряжения δU_y , который характеризуется нормально допустимым значением $\delta U_{y,n}$ в пределах $\pm 5\%$ от номинального напряжения и предельно допустимым значением $\delta U_{y,n}$ в пределах $\pm 10\%$. Однако, ЭМС технических

средств обеспечивается в том случае, если усреднённые (интегрированные) оценки δU_y не выходят за предельно допустимый уровень, а в течение не менее 95% времени каждых суток не выходят за пределы нормального допустимого значения [4].

При превышении значениями установившегося отклонения напряжения нормально допустимого значения в сети появляется кондуктивная ЭМП, обусловленная особенностями технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. Процесс возникновения кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения представляется математической моделью [3]

$$\delta U_y [P(\delta U_{y,н} \leq \delta U_y \leq \delta U_{y,п}) + P(-\delta U_{y,п} \leq \delta U_y \leq -\delta U_{y,н})] > 0,05; \quad (1)$$

$$P(\delta U_{y,п} < \delta U_y < \infty) + P(-\infty < \delta U_y < -\delta U_{y,п}) \neq 0] \subset \delta U_n,$$

где δU_n – кондуктивная ЭМП, %;

$$P(\delta U_{y,н} \leq \delta U_y \leq \delta U_{y,п}), P(-\delta U_{y,п} \leq \delta U_y \leq -\delta U_{y,н}), P(\delta U_{y,п} < \delta U_y < \infty),$$

$$P(-\infty < \delta U_y < -\delta U_{y,п}) – \text{вероятности появления случайной величины } \delta U_y \text{ соответственно в интервалах } (\delta U_{y,н}; \delta U_{y,п}), (-\delta U_{y,п}; -\delta U_{y,н}) \text{ и } (\delta U_{y,п}; \infty), (-\delta U_{y,п}; -\infty).$$

Это означает, что кондуктивная ЭМП δU_n появляется в сети тогда, когда вероятность нахождения δU_y в течение суток в пределах $(\delta U_{y,н}; \delta U_{y,п})$ и $(-\delta U_{y,п}; -\delta U_{y,п})$ превышает 0,05, а в пределах $(\delta U_{y,п}; \infty)$ и $(-\delta U_{y,п}; -\infty)$ не равна нулю. Она появляется также при выполнении только одного условия.

Интегральная функция распределения δU_y определяется по интервалам. Для 1-го интервала она имеет вид

$$P(\delta U_{y,н} \leq \delta U_y \leq \delta U_{y,п}) = \int_{\delta U_{y,н}}^{\delta U_{y,п}} \psi(\delta U_y) d(\delta U_y), \quad (2)$$

где $\psi(\delta U_y)$ – плотность вероятности распределения величины δU_y , 1/%.

Вероятность $P(\delta U_n)$ появления кондуктивной ЭМП δU_n определяется по формуле [3, 5]

$$P(\delta U_n) = P(\delta U_{y,н} \leq \delta U_y \leq \delta U_{y,п}) +$$

$$+ P(\delta U_{y,п} < \delta U_y = \delta U_n, < \infty) +$$

$$+ P(-\delta U_{y,п} \leq \delta U_y \leq -\delta U_{y,н}) +$$

$$+ P(-\infty < \delta U_y = \delta U_n < -\delta U_{y,п}) - 0,05. \quad (3)$$

Математическое ожидание величины δU_n является производящей функцией случайной величины δU_y , поэтому параметры распределения δU_y за расчётный период (24 ч) характеризуют и величину δU_n .

Кондуктивные ЭМП по установившемуся отклонению напряжения в ЭЭС Ямбургского месторождения газа. В качестве базового полигона исследования рассматривается замкнутая сеть 10 кВ ЭЭС Ямбургского линейно производственного управления [1]. На рисунке приведена принципиальная электрическая схема. Для измерения показателей КЭ применялся специализированный прибор типа ППКЭ-1-50, представляющий микро ЭВМ и имеющий сертификат Госстандарта России.

Установлено, что установившееся отклонение напряжения δU_y и величина δU_n за расчётный период следуют нормальному закону распределения теории вероятностей с параметрами:

$M[\delta U_n]$ – математическое ожидание, %;

$\sigma[\delta U_n]$ – среднее квадратическое отклонение, %.

В таблице приведены их расчётные значения, математические модели плотности вероятности распределения и появления помехи δU_n . Вычисления определённых интегралов производится с помощью функции Лапласа [2].

Таким образом, кондуктивная ЭМП δU_n обнаружена на всех подстанциях 10 кВ в разомкнутом режиме. При этом вероятность её появления на подстанции «Ямбург» превышает

допустимое значение появления [0,05] в 2 раза, на подстанции «Тула» – в 1,4 раза. В замкнутом режиме работы сети 10 кВ удалось подавить эти помехи.

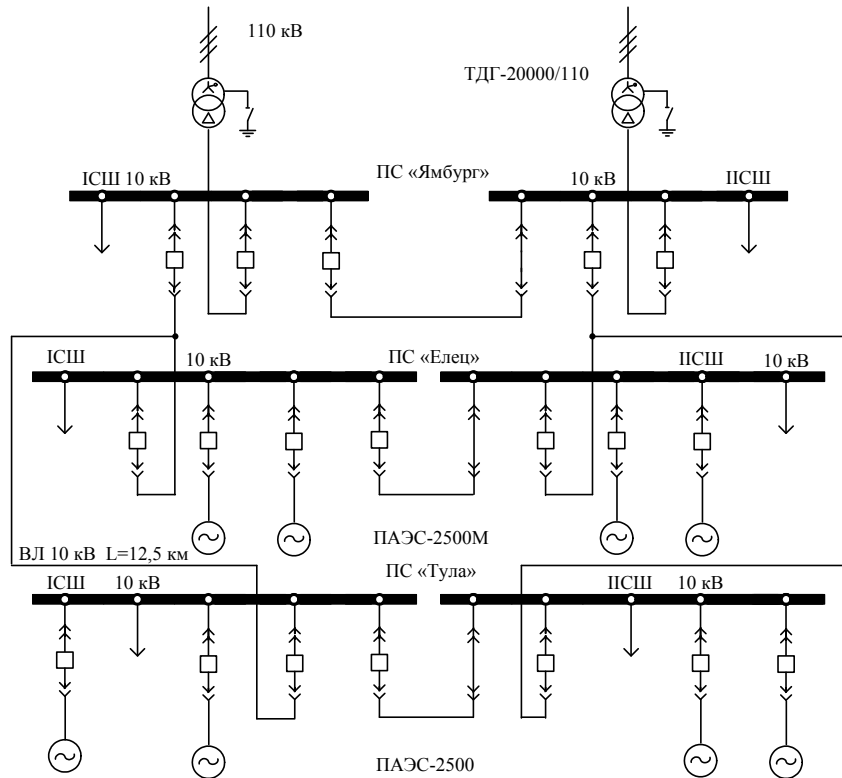


Рисунок – Принципиальная электрическая схема замкнутой сети 10 кВ объекта исследования

Таблица – Параметры кондуктивных ЭМП δU_n

Наименование подстанции, режим питания	Параметры распределения, %	Плотность вероятности распределения, $\varphi(\delta U_n, M[\delta U_n], \sigma[\delta U_n])$, 1/%	Вероятность появления кондуктивной ЭМП $P(\delta U_n)$, о.е.
Ямбург, ИСШ 10 кВ. Сеть разомкнута	$M[\delta U_n] = -1,53$ $\sigma[\delta U_n] = 3,4$	$0,12 \exp\left[-\frac{(\delta U_y + 1,53)^2}{23}\right]$	0,1
Елец, ИСШ 10 кВ. Сеть разомкнута	$M[\delta U_n] = -4$ $\sigma[\delta U_n] = 0,8$	$0,5 \exp\left[-\frac{(\delta U_y + 4)^2}{1,28}\right]$	0,06
Тула, ИСШ 10 кВ. Сеть разомкнута	$M[\delta U_n] = 3,56$ $\sigma[\delta U_n] = 1,16$	$0,34 \exp\left[-\frac{(\delta U_y - 3,56)^2}{2,69}\right]$	0,07
Ямбург, ИСШ 10 кВ. Сеть замкнута	$M[\delta U_n] = 2,48$ $\sigma[\delta U_n] = 3,2$	$0,13 \exp\left[-\frac{(\delta U_y - 2,48)^2}{20,5}\right]$	0,05

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Выбор базового объекта исследования электромагнитной совместимости в замкнутых сетях от 6 до 35 кВ северных месторождений газа / С.Б. Долгушин, И.Н. Дмитриев, Е.Ю. Кислицин, Е.В. Иванова, А.А. Левченко, С.В. Любаков, В.Г. Сальников // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 250-254.

2 Кондуктивные электромагнитные помехи в замкнутых электрических сетях напряжением до 35 кВ / В.В. Горелов, Е.Ю. Кислицин, В.А. Коновалов, О.Е. Малаенко, Л.Н. Татьяначенко, В.Г. Сальников // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 279-281.

3 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. -432 с.

4 ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109-67; введ. 01-01-99. -Минск: Стандарты, 1998. -31 с.

5 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в местных электрических сетях промышленных предприятий и электростанций / Е.В. Иванова // Пром. энергетика. -2003. -№7. -С. 36-40.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрическая сеть электромагнитная помеха, подавление, отклонение напряжения
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Дзюба Павел Анатольевич, соискатель ФБОУ ВПО «НГавт»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»

КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЕНСИРОВАННОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ООО «Производственное научное предприятие «Болид»
«Инновационный евразийский университет»

Ю.М. Денчик, П.А. Дзюба, М.З. Рамазанов, Д.А. Шкитов,
Л.И. Сарин, Е.В. Иванова

THE CONCEPT OF IMPROVEMENT OF QUALITY FUNCTIONING THE COMPENSATED NETWORK OF AVERAGE PRESSURE
«Novosibirsk state academy of water transport»
Industrial scientific enterprise «Bolid»
«Innovation Eurasian university»

Ju.M. Denchik, P.A. Dzuba, M.Z. Ramazanov, D.A. Shkitov, L.I. Sarin, E.V. Ivanova

The analysis of the reasons occurrence considerable pressure of displacement of a neutral is carried out. The concept of improvement quality of functioning the compensated network of average pressure is offered. Conclusions are drawn.

Keywords: medium voltage network, neutral, waveform, concept, function, mode, arcing reactor, the resistor

Осуществлён анализ причин появления значительных напряжений смещения нейтрали. Предложена концепция повышения качества функционирования компенсированной сети среднего напряжения. Сделаны выводы.

Рабочее заземление нейтрали сети среднего напряжения (от 6 до 35 кВ) через дугогасящий реактор (ДГР) применяется для повышения качества функционирования сети. При этом, согласно ГОСТ Р 50397-93, под качеством функционирования понимается совокупность показателей, удовлетворяющих требованиям эксплуатации. Главными целями применения ДГР являются [1-3]:

- уменьшение ёмкостного тока замыкания на землю и на этой основе исключения повторного зажигания заземляющей дуги и сопровождающих перенапряжений;
- исключение феррорезонансных процессов в цепях измерительных трансформаторов напряжения;
- снижение вероятности перебрасывания дуги на соседние фазы, то есть исключение вероятности двухфазных и трёхфазных коротких замыканий (КЗ), при которых нарушается электроснабжение потребителей [3].

При резонансной настройке ДГР [4]

$$\omega L = \frac{1}{\omega(C_A + C_B + C_C)}; \quad (1)$$

$$\omega = 314/C,$$

где L – индуктивность катушки реактора, Гн;

C_A, C_B, C_C – ёмкости соответствующих фаз на землю, Ф.

Ток I_C в месте повреждения изоляции компенсируется индуктивным током I_L реактора (рисунок), что способствует погасанию дуги. Если дуга не возникает, то компенсация позволяет замедлить процесс разрушения изоляции и тем самым отдалить переход повреждения в междуфазное КЗ на время, достаточное для отыскания повреждённого участка и его отключения. Эффективность компенсации ёмкостного тока (отношение количества замыканий на землю, не развившихся в междуфазные КЗ, к общему количеству замыканий на землю) составляет от 0,6 до 0,9. Для незаземлённых сетей это отношение составляет 0,3 [4, 5].

Отклонение настройки от резонансной характеризуется степенью расстройки компенсации [4, 7]

$$k = \frac{I_C - I_L}{I_C} = \frac{\omega(C_A + C_B + C_C) - (1/\omega L)}{\omega(C_A + C_B + C_C)}. \quad (2)$$

При резонансной настройке имеем $k = 0$, при недокомпенсации $k > 0$, при перекомпенсации $k < 0$. Допускается настройка с перекомпенсацией ($k \leq -0,05$), если индуктивная составляющая тока замыкания фазы на землю I_3 не превышает 5 А. Режим недокомпенсации допускается только при недостаточной мощности ДГР и при условии, что любая аварийно

возникающая ёмкостная асимметрия (обрыв провода, растяжка жилы кабеля и др.)

$$\alpha = -\frac{C_A + a^2 C_B + a C_C}{C_A + C_B + C_C}, \quad (3)$$

где a – фазный множитель

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}; j = \sqrt{-1},$$

не может привести к появлению напряжения смещения нейтрали U_0 , превышающего $0,7U_\phi$.

При этом должно соблюдаться неравенство $\kappa \leq 0,05$.

Напряжение U_0 определяет степень несимметрии фазных напряжений

$$\kappa_H = \frac{U_0}{U_\phi} 100, \% \quad (4)$$

Величина κ_H не должна превышать 0,75%, а напряжение смещения нейтрали 15% фазного напряжения U_ϕ .

При отсутствии однофазного замыкания на землю можем записать [1]

$$\dot{U}_0 = \dot{U}_N \frac{1 + jg}{1 + jg(1 - \kappa)}, \quad (5)$$

где g – добротность контура заземления реактора

$$g = \omega L / R_p;$$

\dot{U}_N – напряжение смещения нейтрали при отключённом ДГР, которое при отсутствии активной проводимости сети определяется по формуле [4]

$$\dot{U}_N = \alpha \dot{U}_\phi. \quad (6)$$

Применительно к рисунку имеем $\dot{U}_\phi = \dot{U}_A$. При пренебрежении ёмкостной асимметрии сети ($\alpha = -1$) имеем $\dot{U}_N = -\dot{U}_A$.

При появлении ёмкостной асимметрии (обрыв фазы на воздушной линии без падения провода на землю, обрыв жилы кабеля и т.д.), обуславливающий режим недокомпенсации, из формулы (5) имеем ($\kappa \leq 1,0$)

$$\dot{U}_0 = \dot{U}_N (1 + jg). \quad (7)$$

Учитывая, что добротность контуров действующих ДГР находится в пределах от 20 до 100, модуль напряжения смещения нейтрали составляет [1]

$$|\dot{U}_0| = \dot{U}_N \sqrt{1 + g^2} \approx (20 - 100) \dot{U}_N. \quad (8)$$

Для режима перекомпенсации ($\kappa \leq 0$) имеем

$$|\dot{U}_0| < \dot{U}_N. \quad (9)$$

Таким образом, ДГР, обеспечивающий полную компенсацию ёмкостного тока замыкания на землю при технологических нарушениях режима сети, является источником значительных напряжений на нейтрали сети. Требуется принятие мер по снижению этого напряжения потому что изоляция сети является чувствительным рецептором к напряжению смещения.

Одним из путей исключения недостатков, свойственных компенсированной сети среднего напряжения, является параллельное включение высокоомного резистора к ДГР. При этом обеспечивается снижение добротности контура заземления реактора и соответственно (8), напряжения смещения нейтрали. Однако, внедрение этого способа заземления нейтрали отмечается в единичных случаях из-за отсутствия соответствующего стандарта [3, 5]. Для разработки такого дирек-

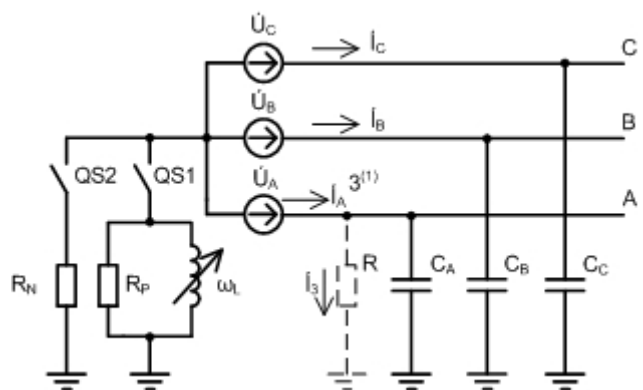


Рисунок – Схемы замыкания фазы А на землю в трёхфазной сети с различными рабочими заземлениями нейтрали: резонансно-заземлённой (разъединитель QS1 включён); индуктивно-резистивным заземлением (QS1 и QS2 включены), резистивным заземлением (QS2 включён)

тивного документа требуется не только научно-техническое обоснование, но и обобщённый анализ результатов внедрения. Одним словом, требуется концепция.

В связи с этим, в аспекте приведённых данных о влиянии добротности контура заземления реактора на напряжение смещения нейтрали, излагается концепция повышения эффективности работы компенсированной сети, которая заключается в возможности совместного проявления способностей ДГР ограничивать ёмкостные токи замыкания фазы на землю и резистора, заземляющего нейтраль, снижать напряжение смещения нейтрали и другие внутренние коммутационные перенапряжения.

Для этого необходимо определить рациональное сопротивление высокоомного резистора R_N (рисунок), при котором обеспечиваются допустимые перенапряжения фазных напряжений и напряжения смещения нейтрали при различных однофазных замыканиях на землю и неполнофазных режимах. Для расчёта рекомендуется использовать комплекс программ МАЭС, предназначенный для расчёта электромеханических переходных процессов в электроэнергетических системах. Главной особенностью этого комплекса является незамкнутый характер формирования расчётных схем. Из элементов библиотеки МАЭС может быть собрана любая сколь угодно сложная расчётная схема, для которой автоматически формируется полная система дифференциальных уравнений. При этом соединение элементов схемы и решение совместной системы уравнений осуществляется без ограничений и потери точности.

Однако, при этом необходимо учитывать следующие положения, которые обуславливаются в основном электробезопасностью сетей при нестационарных режимах сети среднего напряжения (однофазные замыкания на землю, неполнофазные режимы):

1 Чтобы перенапряжения не превышали 2,2 амплитудных фазных значений, а затухание переходного тока в контуре проходило по аperiодическому закону, необходимо выдерживать неравенства

$$\begin{cases} R_N \geq 1000 \text{ Ом для сети 35 кВ;} \\ R_N \geq 100 \text{ Ом для сети 10 кВ;} \end{cases} \quad (10)$$

2 Резистор $R_N = 1000$ Ом в нейтрали сети 35 кВ разрядит её ёмкость C за время

$$t = R_N C \approx 0,0003 \text{ с.} \quad (11)$$

Время t будет ещё меньше в сети 10 кВ.

3 Выполнение условия для сети среднего напряжения

$$t = R_N C \approx 0,01 \text{ с.} \quad (12)$$

Указывает на отсутствие возможности феррорезонансных явлений в цепях измерительных трансформаторов напряжения [6].

Предложенная методика прошла апробирование в сети 35 кВ ОАО «Кузбассэнерго» [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Короткевич, М.А. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей / М.А. Короткевич. - Минск: Техноперспектива, 2003. -373 с.
- 2 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях транспортных систем (теория, расчёт, подавление) / Е.В. Иванова // Трансп. дело России. -2006. -№8. -С. 16-20.
- 3 Компенсированная и комбинированно заземлённая нейтраль / Л.И. Сарин [и др.] // Новости электротехники. -2007. - №2(44). -С. 68-72.
- 4 Электрическая часть станций и подстанций: учеб. для вузов / А.А. Васильев [и др.]; под ред. А.А. Васильева. -2-е изд., перераб. доп. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -576 с.
- 5 High-Resistance grounding of low-voltage systems: a standart for the petroleum and chemical industry /John P. Nelson [etc.] // IEEE Transactions on industry applications, 1999. -Vol. 35, №4. -P. 941-948.
- 6 Ограничения высокоомными резисторами перенапряжений при однофазных дуговых замыканиях в сети 35 кВ ПС Тяжинская ОАО «Кузбассэнерго» / Д.С. Кудряшов [и др.] // Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтралей сетей 6-35 кВ: тр. 2-й всерос. науч.-техн. конф. -Новосибирск, 2002. -С. 45-49.
- 7 ТИ 34.20.179-88. Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ. -М.: СПО «Союзтехэнерго», 1988. -55 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сеть среднего напряжения, нейтраль, осциллограмма, концепция, функционирование, режим, дугогасящий реактор, резистор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГавт»
Дзюба Павел Анатольевич, соискатель ФБОУ ВПО «НГавт»
Рамазанов Мурат Зикенович, канд. техн. наук, соискатель ФБОУ ВПО «НГавт»
Шкитов Денис Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГавт»
Сарин Леонид Иванович, директор ООО ПНП «Болид»
Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, доцент «ИНЕУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»
630015, г. Новосибирск, ул. Электрозаводская, 2, корп. 6, ООО «ПНП Болид»
140003, Казakhstan, г. Павлодар, ул. Ломова, 45, «ИНЕУ»

РЕАКЦИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО НЕЙТРАЛЬ ДУГОГАСЯЩЕГО РЕАКТОРА С ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ РЕЖИМА СЕТИ 10 кВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.М. Денчик

REACTION OF NEUTRAL EARTHING ARCING REACTIVATION OF RA WITH THE TECHNOLOGICAL BIAS VIOLATING THE NETWORK MODE 10 kV

«Novosibirsk state academy of water transport»

Ju.M. Denchik

An analysis of the shortcomings of the system neutral grounding medium-voltage arcing through reactor. Represented by an empirical mathematical model of the issuance of a reactor with biasing networks for the steady-mode regime of compensation of capacitive current to earth. Conclusions.

Keywords: neutral, arcing reactor waveform, the method of experimental design, the reaction mode, the empirical mathematical model, the compensation capacitor current

Приведён анализ недостатков системы заземления нейтрали среднего напряжения через дугогасящий реактор. Представлена эмпирическая математическая модель времени выхода в сети реактора с подмагничиванием на установившийся режим компенсации ёмкостного тока на землю. Сделаны выводы.

Рабочее заземление нейтрали электрической сети напряжением от 6 до 35 кВ через дугогасящий реактор (ДГР) обуславливается поведением системы электроснабжения на замыкание фазы на землю [1]. Такое заземление должно применяться при следующих значениях ёмкостных токов замыкания фазы на землю в сетях при нормальных режимах работы: в воздушных сетях (ВЛ) от 6 до 20 кВ на железобетонных или металлических опорах и во всех сетях 35 кВ – при токе более 10 А; в сетях, не имеющих железобетонных или металлических опор ВЛ: при напряжении 10 кВ – более 20 А, при 15-20 кВ – более 15 А; в схемах 6-20 кВ блоков генератор-трансформатор – более 5 А. При токах замыкания на землю более 50 А рекомендуется устанавливать не менее двух ДГР [2, 3].

Условия применения ДГР чётко определены. В п.5.11.10 «Правил технической эксплуатации» сказано: «Дугогасящие аппараты должны иметь резонансную настройку. Допускается настройка с перекомпенсацией, при которой реактивная составляющая тока замыкания на землю должна быть не более 5 А, а степень расстройки – не более 5%. Если установленные в сетях 6-20 кВ ДГР имеют большую разность токов смежных ответвлений, допускается настройка с реактивной составляющей тока замыкания на землю не более 10 А. В сетях 35 кВ при ёмкостном токе замыкания на землю менее 15 А допускается степень расстройки не более 10%» [2]. Кроме того, в п.5.11.12 «Правил...» указано, что «в сетях 6-20 кВ, как правило, должны применяться плавнорегулируемые ДГР с автоматической настройкой компенсации». Продолжительность работы реактора при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) ограничена шестью часами.

Основное назначение заземления нейтрали через ДГР, предложенный Петерсоном в начале прошлого века, состоит в снижении ёмкостного тока замыкания на землю и, следовательно, в исключении повторных зажигания дуги и связанных с ней перенапряжений, а также вероятности междуфазных коротких замыканий. Считалось [4], что компенсированные сети обладают большой степенью электробезопасности и надёжностью, хотя опыт эксплуатации показал, что именно там, где эти свойства особенно важны, все преимущества присущи сетям с глухим заземлением нейтрали или только с быстродействующим отключением повреждений (например, в горнодобывающей промышленности, сельском хозяйстве и т.д.).

При эксплуатации ДГР оказалось, что при несимметрии ёмкостных проводимостей фаз сети этот реактор в нормальном режиме работы увеличивает напряжение смещения нейтрали. Поэтому [3] указывает допустимые значения напряжения на нейтрали из-за несимметрии сети в размере 0,75% от фазного значения U_ϕ (151,7 В или 43,3 В в сети с номинальным напряжением 35 или 10 кВ) и допустимое усиление этой несимметрии при учёте добротности реактора, равной 20, до $0,15U_\phi$ (то есть до 3034 В или 866 В в сети напряжени-

ем 35 или 10 кВ).

Из-за невозможности оперативного обеспечения резонансной настройки ДГР с ёмкостью сети не представляется возможным полностью устранить перемежающиеся дуговые замыкания (ОДЗ) и связанные с ними перенапряжения. Кроме этого, в сети с компенсированной нейтралью весьма опасны, с точки зрения значений, возникающих перенапряжений, неполнофазные режимы в условиях недокомпенсации ёмкостного тока. Применение реактора с большой добротностью приводит к недопустимому напряжению смещения нейтрали [4]. К тому же недостатки сети с изолированной нейтралью характерны также для сети с компенсированной нейтралью:

- при металлическом ОЗЗ напряжение неповреждённых фаз повышается до линейного значения, что требует выполнения фазной изоляции на линейное напряжение;

- при ОДЗ возможно возникновение феррорезонансных перенапряжений в цепи намагничивания измерительных трансформаторов напряжения, возникающих при взаимодействии ёмкостей сети относительно земли с их индуктивностями;

- сеть (особенно воздушная) с неотключённым замыканием на землю представляет высокую опасность с точки зрения поражения электрическим током обслуживающего персонала, людей и животных, оказавшихся вблизи места однофазного замыкания (за счёт значительного повышения напряжения прикосновения к заземлённым частям электроустановок и напряжения шага) и повреждения или разрушения железобетонных опор линий электропередачи напряжением от 6 до 35 кВ, через которые протекает ток замыкания на землю.

Таким образом, известный способ автоматического гашения дуги однофазного замыкания на землю в сети от 6 до 35 кВ через ДГР имеет противоречия, обусловленные [4]:

- невозможностью выявления ОЗЗ по признаку появления токов и напряжений нулевой последовательности, а также непосредственного измерения ёмкости компенсированной сети и, следовательно, самой резонансной настройки ДГР;

- вероятностью возникновения перенапряжений резонансного характера на промышленной частоте, хотя этот способ изначально предназначен для уменьшения перенапряжений на частотах собственных колебаний сети при ОЗЗ;

- неизбежной необходимостью последующего отыскания места повреждения, то есть применения устройств селективной сигнализации замыканий.

Условия возникновения, горения и гашения дуги в различных изоляционных средах (воздухе, масле, бумаге) отличаются друг от друга так же, как различны по величине и форме токи однофазного замыкания на землю и в ДГР. Следует признать, что идеальные условия автоматического дугогашения на практике отсутствуют. Очевидно также, что с учётом многообразия процессов при ОЗЗ сам метод компенсации не может рассматриваться как универсальный [1, 4, 7].

Целесообразно отметить также, что режимы работы сети с не отключаемыми замыканиями на землю допущены были в своё время как вынужденная временная мера, позволяющая сохранить электроснабжение потребителей в условиях отсутствия резервных источников питания и надёжных средств релейной защиты. Временное решение, обусловленное как вынужденное в виде исключения, многие десятилетия используется как общепринятое постоянное [6].

Из приведённых научно-технических положений возникает вопрос: нужна ли компенсация ёмкостных токов замыкания фазы на землю в распределительных сетях от 6 до 35 кВ? Поставленная задача не может иметь однозначного решения и её главная цель – критическое осмысливание стереотипов, сложившихся вокруг теории дугогашения с помощью автоматической компенсации ёмкостных токов. Но, в то же время, совершенно очевидно, что область её применения должна быть сведена к минимуму [7].

С другой стороны, ДГР, настроенный на резонанс, при дуговых замыканиях на землю проявляет все положительные стороны компенсации ёмкостных токов. Это положение широко использовалось и используется в ряде европейских стран, применяющих компенсацию ёмкостного тока (Германия, Австрия, Чехия, Россия и др.).

К наиболее современным системам компенсации ёмкостного тока относятся ДГР с подмагничиванием. Эти реакторы должны обеспечивать возможность быстродействующей автоматической настройки (в течение 1-2 с), то есть гибкую и совершенную систему регулирования. Недостатки этой системы регулирования заключаются в незначительном диапазоне регулирования токов высших гармоник [5].

В электроэнергетических системах России используются в основном ДГР с подмагничи-

ванием типа РУОМ (РОУ, РЗДУОМ). Обследование 30 реакторов показало, что только семь из них работают в автоматическом режиме. Сведений же в технической литературе о причинах отсутствия автоматики и о реакции ДГР с подмагничиванием на возмущения, обусловленные технологическими нарушениями режима работы сети, крайне недостаточно [6].

В данной статье делается попытка разобраться с быстродействием реактора на возмущения. Для определения времени выхода в автоматическом режиме ДГР с подмагничиванием на установившийся режим компенсации ёмкостного тока при однофазных (дуговых и металлических) замыканиях на землю проводились исследования в электрической сети 10 кВ [1, 6].

При разработке электрической схемы эксперимента (рисунок 1) и выборе измерительной аппаратуры использовался комплексный подход к осциллографированию фазных напряжений и токов замыкания на землю. Исследовался ДГР типа РУОМ-190/11 с современной отечественной системой автоматической настройки типа САНК 4.2, который должен обеспечивать эффективную компенсацию ёмкостного тока I_c как при работе только секции шин 2СШ 10 кВ (около 7 А), так и при работе объединённых секций (1+2) СШ 10 кВ (более 20 А).

Для преобразования сигнала тока в цепи заземления реактора применялся компенсационный датчик тока на эффекте Холла типа LT 500, а в цепи замыкания фазы на землю – трансформатор тока типа ТЛМ-10 50/5. Сигналы фазных напряжений снимались с делителей напряжения типа ДН-10. Запись сигналов осуществлялась с помощью японского цифрового осциллографа-регистратора DL-750 Score

Corder – многоканальной компьютеризированной системой сбора, обработки и хранения данных. Металлические однофазные замыкания на землю выполнялись установкой однофазной закоротки. Для создания дуговых замыканий использовался искровой промежуток.

При включении ДГР и отсутствии в сети 10 кВ ОЗЗ некоторое время наблюдается биеение тока в цепи заземления реактора и значительное напряжение смещения нейтрали. На рисунке 2 показана осциллограмма этого тока при подключении ДГР к 2 СШ 10 кВ. В это время наблюдалось значительное качание стрелки вольтметра контроля изоляции, что свидетельствует о «раскачивании» нейтрали во время определения требуемой уставки реактора. Напряжение смещения нейтрали составляло около 500 В (8,7% от фазного напряжения сети).

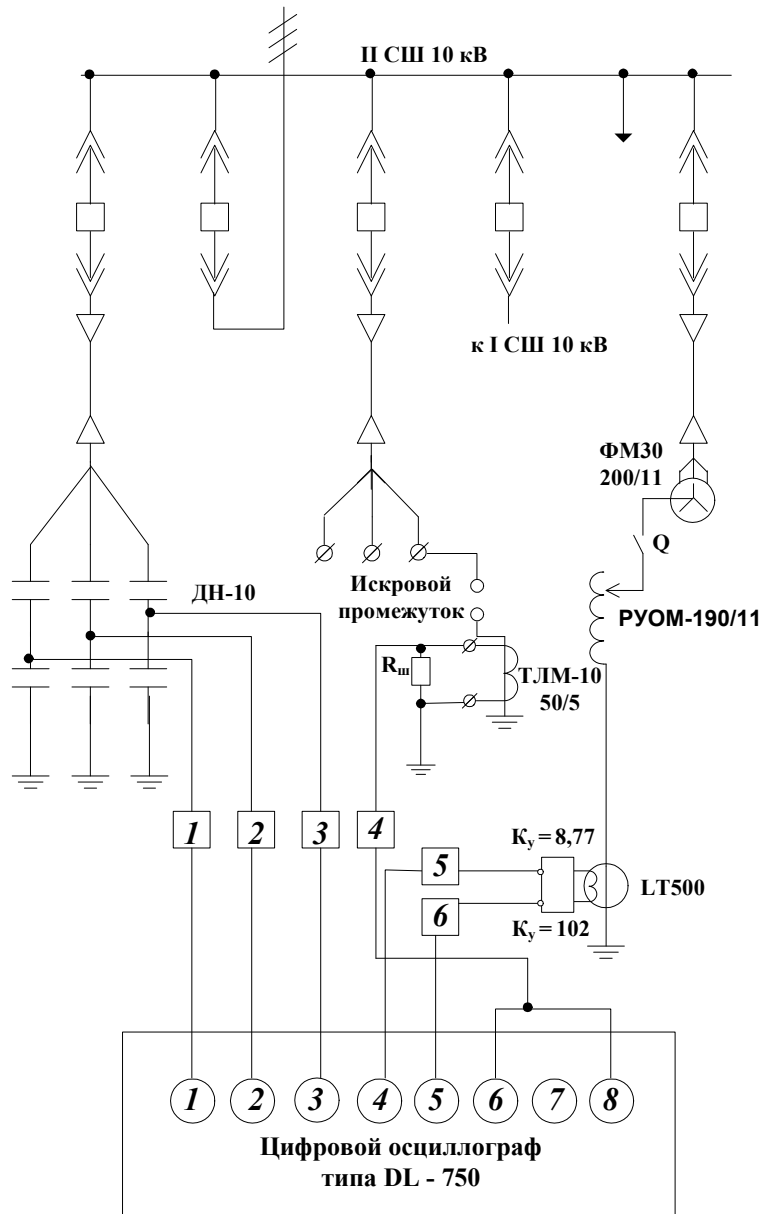


Рисунок 1 – Схема подключения измерительной аппаратуры при экспериментальном исследовании эффективности дугогасящего реактора типа РУОМ-190/11 с подмагничиванием при металлических и дуговых однофазных замыканиях на землю в сети 10 кВ

Задача по определению времени выхода на установившийся режим компенсации ДГР с подмагничиванием t_y при металлическом ОЗЗ представлена как экстремальная, решение которой осуществляется методом планирования эксперимента. Основными факторами, влияющими на t_y , являются ток замыкания фазы на землю I_* , представленный в относительном значении (отнесённый к максимальному значению тока ДГР двухчасовой нагрузки), и момент замыкания U_* , который обуславливает фазное напряжение.

Опыты проводились в соответствии с планом эксперимента. Получены осциллограммы тока в цепи заземления ДГР, остаточного тока ОЗЗ и фазных напряжений. Для иллюстрации на рисунке 3 приведены эти осциллограммы при схеме сети (1+2) СШ 10 кВ.

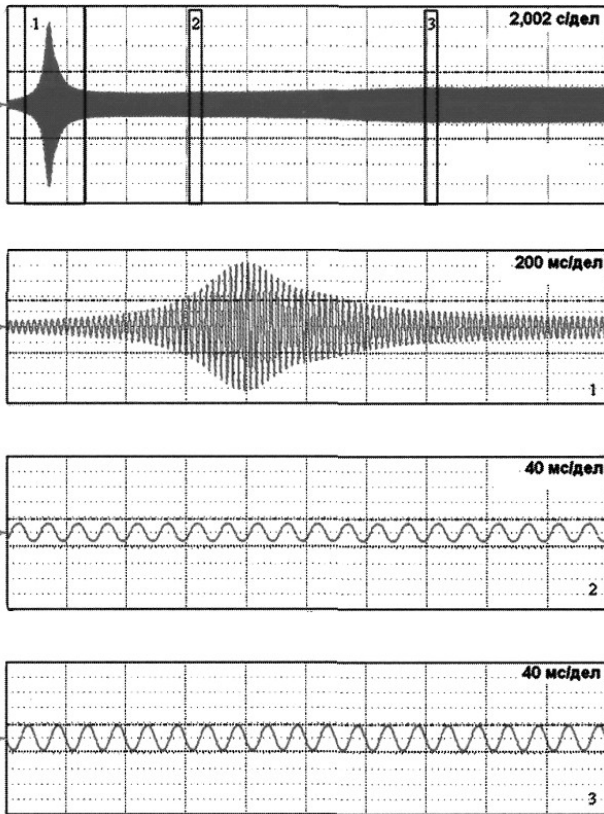


Рисунок 2 – Сигнал тока в цепи заземления РУОМ-190/11, зафиксированный в отсутствие в сети ОЗЗ, при работе системы автоматической настройки (после включения САНК 4.2 в работу): масштаб по оси $I_{РУОМ} = 0,2 \text{ A/дел.}$

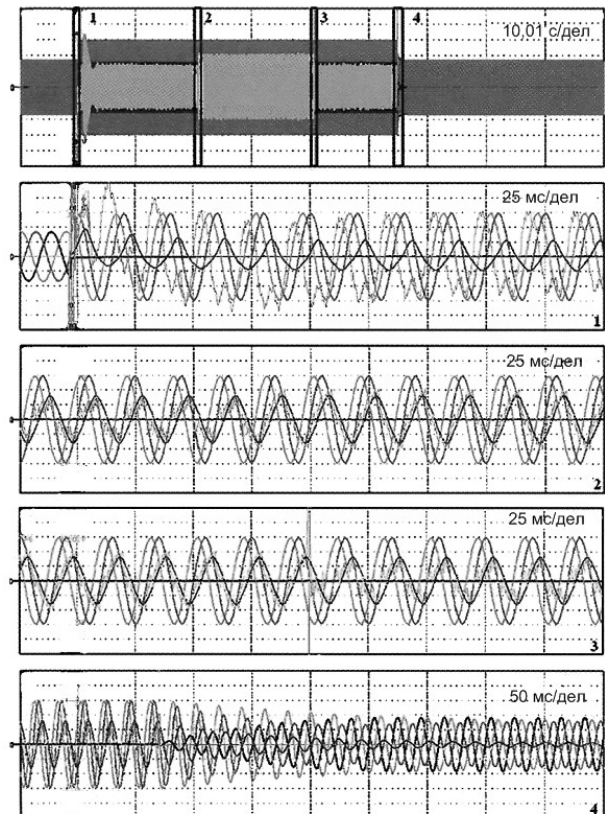


Рисунок 3 – Осциллограммы тока в цепи заземления РУОМ-190/11, остаточного тока ОЗЗ и фазных напряжений при замерах в сети (1+2) СШ 10 кВ для момента замыкания 0,88: масштаб по оси напряжения – $4,86 \text{ кВ/дел.}$; по оси $I_{РУОМ} = 17,54 \text{ A/дел.}$; по оси $I_{ОЗЗ} = 2,78 \text{ A/дел.}$

Показано, что с вероятностью 0,95 результаты измерений являются равнозначными. Информативность экспериментального материала не вызывает сомнений. Доказана статистическая значимость коэффициентов эмпирической математической модели

$$t_y = 5,9 - 1,2I_* - 2,1U_* + 1,6I_{*} \quad (1)$$

Экспериментально подтверждена адекватность этой математической модели. 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.

Гармонический состав тока ДГР во время переходного процесса характеризуется наличием 3-й и 5-й гармоник с уровнем до (1,5–17)% от основной гармоники.

Характерные осциллограммы изменения параметров переходного процесса при однофазных дуговых замыканиях на землю приведены на рисунке 4. На рисунке 5 приведена соответствующая осциллограмма кривых напряжения смещения нейтрали и тока реактора.

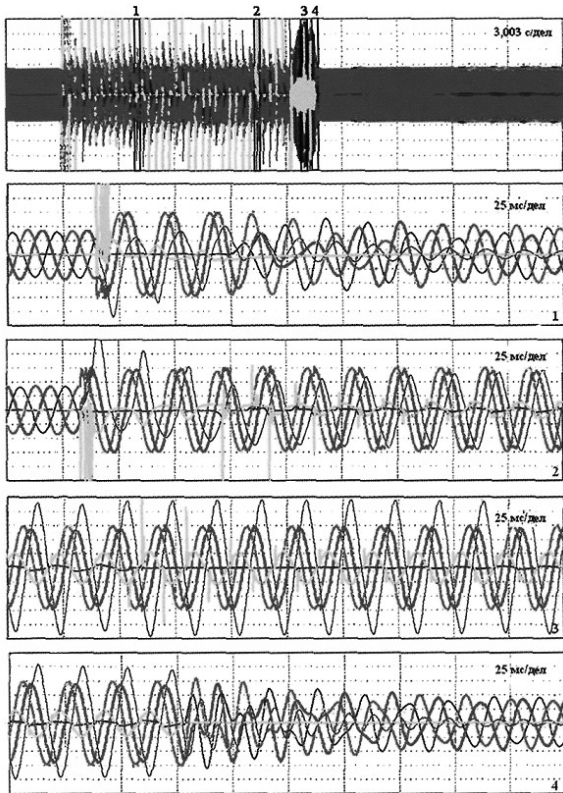


Рисунок 4 – Осциллограммы фазных напряжений, тока в цепи заземления РУОМ-190/11 и тока в месте ОДЗ в сети 2 СШ 10 кВ (интервал между последовательными зажиганиями дуги – 0,36 с). Масштаб: по оси $I_{PUCM} = 8,77 \text{ A/дел.}$; по оси $I_{O33} = 27,9 \text{ A/дел.}$; по оси $U_{\phi} = 4,86 \text{ кВ/дел.}$

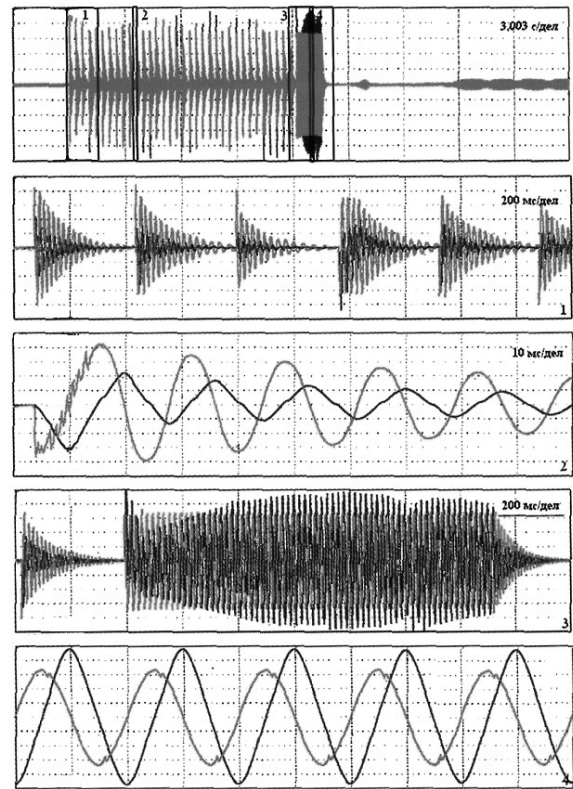


Рисунок 5 – Осциллограммы кривых напряжения смещения нейтрали и тока реактора при интервале между последовательными зажиганиями дуги – 0,36 с в сети 2 СШ 10 кВ: масштаб по оси $I_{PUCM} = 8,77 \text{ A/дел.}$; по оси $U_{cm} = 2,79 \text{ кВ/дел.}$

Наблюдались значительные (превышающие допустимые значения) напряжения смещения нейтрали, которые составляли от 93 до 342% фазного напряжения.

Таким образом, с вероятностью 0,95 время выхода ДГР с подмагничиванием на установившийся режим компенсации при технологических нарушениях режима сети с вероятностью 0,95 находится в пределах от 4 до 6 с. Причём, чем больше нагружен реактор (чем выше ток компенсации), тем быстрее он выходит на установившийся режим. Следовательно, заявленное быстродействие (1-2 с) при однофазных замыканиях на землю не подтверждается, не обнаружено преимуществ реактора с подмагничиванием перед реакторами других типов в защите изоляции от перенапряжений в течение половины периода промышленной частоты (классическое время горения перемежающейся дуги).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Математическая модель времени выхода дугогасящего реактора с подмагничиванием на установившийся режим компенсации в электрической сети среднего напряжения / Ю.М. Денчик [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. - 2011. - №1. - С. 95-100.
- 2 Правила устройства электроустановок. -М.: ДЕАН, 2001. -928 с.
- 3 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. -М.: СПО ОРГРЭС, 2003. - 172 с.
- 4 Короткевич, М.А. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей / М.А. Короткевич. - Минск: Техно-перспектива, 2003. -373 с.
- 5 Васильев, А.А. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. для вузов /А.А. Васильев [и др.]; под ред. А.А. Васильева. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -576 с.
- 6 Экспериментальное исследование эффективности дугогасящего реактора 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. 17-26.
- 7 Фельдман, М.Л. Нужна ли компенсация ёмкостных токов? / М.Л. Фельдман // Энергетик. -2001. -№8. -С. 19-20.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нейтраль, дугогасящий реактор осциллограмма, метод планирования эксперимента, реакция, режим, эмпирическая математическая модель, компенсация, ёмкостный ток
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз»

В.З. Манусов, Ю.М. Демидас, И.С. Макаров

FORECASTING OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

«Novosibirsk state technical university»

«Gazprom нефть NNG»

V.Z. Manusov, Yu.M Demidas, I.S Makarov

The purpose of this paper is to minimize errors in the prediction for a sufficiently long interval of advance.

Keywords: forecast, neural network, train

Выполнена минимизация ошибки при прогнозировании на достаточно длительном интервале предупреждения.

Реформирование энергетической отрасли повлекло введение новых принципов функционирования рынков электроэнергии (ЭЭ) и существенное изменение договоров энергоснабжения и купли продажи. Энергоснабжающие организации и потребители (субъекты розничного рынка электроэнергии) в сложившихся на данный момент условиях заинтересованы в достоверном планировании (прогнозировании) потребностей в ЭЭ и проведении эффективного анализа по ее использованию. Вследствие этого положения существенно возрастает ответственность в достоверном решении задач анализа и прогнозирования режимных параметров (в первую очередь, электрической нагрузки потребителей, перетоков мощности и т.д.) и характеристик (потерь электроэнергии, температуры наружного воздуха и т.д.) для каждой конкретной энергоснабжающей организации (ЭСО).

Одним из путей повышения качества решения задач прогнозирования, с учётом выделенных проблем, является использование современных технологий искусственного интеллекта (ТИИ), в частности наиболее популярных и эффективных структур ТИИ - искусственных нейронных сетей (ИНС).

Пусть с шин подстанции, оборудованной приборами учета и системой телеметрии, запрашиваются две группы потребителей: исследуемая группа потребителей ($P_{иссл}$) и группа сторонних потребителей ($P_{ст}$) (рисунок 1).

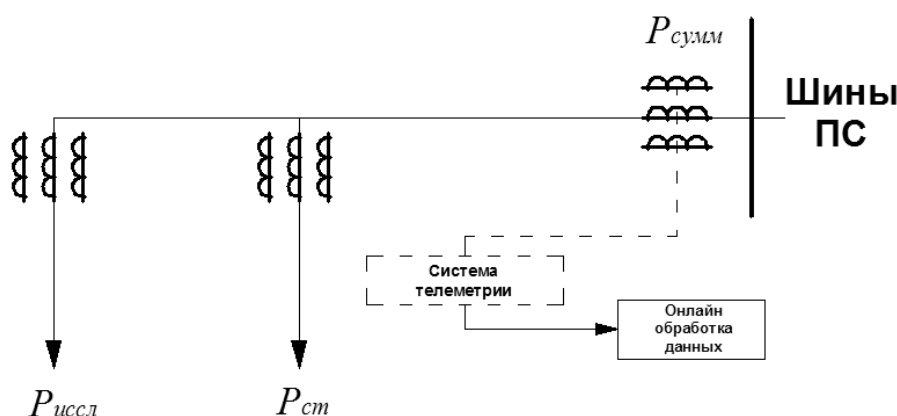


Рисунок 1 – Постановка задачи прогнозирования в случае отсутствия телеметрии у исследуемого потребителя

Исследуемый и сторонний потребитель снабжены приборами учета, но не снабжены средствами телеметрии. При этом единственным источником информации о текущем потреблении электроэнергии является телеметрия с шин питающей подстанции.

Решение такого рода задач, как правило, осуществляется с помощью регрессионных моделей, позволяющих связать известное суммарное потребление электроэнергии с шин питающей подстанции с потреблением электроэнергии исследуемым потребителем. Однако

в настоящее время большое распространение получили системы, базирующиеся на принципах работы живых организмов, в частности, моделирующие их нервную деятельность. Такие системы получили название искусственных нейронных сетей (ИНС). Одним из главных и наиболее эффективных приложений ИНС является прогнозирование.

В нашем случае, задача прогнозирования сводится к задаче, в которой некоторому входному вектору X , составленному из последних известных данных по общему потреблению с шин подстанции, мы, посредством преобразования с помощью ИНС, ставим в соответствие некоторый выходной вектор Y_i , представляющий прогнозные значения потребления электроэнергии при подаче i -го примера. Для этого нам нужно, выбрать архитектуру ИНС и обучить ее, решая при этом две противоречивые задачи: уменьшение среднего квадрата ошибки и сохранение квадрата ошибки в заданных пределах на предопределенном интервале.

Обучить искусственную нейронную сеть, в нашем случае, значит минимизировать следующую функцию [1, 2]

$$F(W, X) = \sum_{i=1}^N (Y_i - d_i)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где Y_i – выходной прогноз сети при подаче i -го примера;

d_i – соответствующее истинное значение потребления электроэнергии;

N – общее количество примеров во множестве обучения.

Стоит отметить, что обучение производится на так называемой «обучающей выборке», и значения d_i известны заранее.

Отклик сети Y получается в результате нелинейного преобразования вектора x [1]

$$Y = f(W, X) = \varphi \left\langle \sum_k w_{ok} \varphi \left\{ \sum_j w_{kj} \varphi \left[\dots \varphi \left(\sum_i w_{ji} x_i \right) \right] \right\} \right\rangle, \quad (2)$$

где $\varphi(\)$ – функция активации общего вида;

w_{ok} – синаптический вес связи между нейроном k последнего скрытого слоя и единственным выходным нейроном 0 , и т.д. для всех остальных синаптических весов;

x_i – i -й элемент входного вектора X .

В ходе обучения для выбранной архитектуры сети вектор W примет значение W'_{opt} близкое к оптимальному W_{opt} , в котором функция $F(W, X)$ достигает глобального минимума. Оптимальный результат W_{opt} зависит от количества примеров в обучающей выборке. Исследуем зависимость значения целевой функции в точке W'_{opt} от длины обучающей выборки. Для этого в программе «Neural Train» предусмотрен режим проверки качества обучения. В этом режиме происходит обучение сети и расчет ошибки на обучающей выборке следующим образом

$$Err_{train} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|Y_i - d_i|}{d_i} \cdot 100\%, \quad (3)$$

Следует обратить внимание на то, что при расчете средней ошибки используется функция модуля, а не квадратичная функция, так как в большинстве практических приложений прогнозирования в энергетике более важным является модуль отклонения.

Графически зависимость средней ошибки на обучающей выборке от длины выборки при фиксированной архитектуре сети и одинаковом алгоритме обучения имеет вид

Не смотря на то что, $F(W, X)$ это трансцендентная функция, а не полином, для нее, по аналогии с интерполяционным многочленом Лагранжа, применимы соображения о связи ошибки на обучающей выборке с разностью между количеством примеров и числом переменных (весов синапсов). С ростом длины выборки можно наблюдать тенденцию к росту средней ошибки. Это связано с тем, что также как и в задаче описания случайного процесса заданного во времени N точками, полиномом степени M , при увеличении числа P равно $M - N + 1$ ошибка описания будет увеличиваться.

Весь процесс обучения сети построен на минимизации ошибки на обучающей выборке, для того чтобы на дистанции упреждения ошибка была приблизительно также мала. Однако, уменьшить ошибку можно сократив длину выборки (рисунок 2). Зачастую решение о сокращении обучающей выборки выглядит очень привлекательным. Но при чрезмерном сокраще-

нии обучающей выборки разработчик будет сталкиваться с ситуацией, когда значение ошибки при прогнозировании будет сильно отличаться от ошибки на обучающей выборке.

Для исследования этого аспекта из обучающей выборки выделяется так называемая «контрольная группа». Элементы этой группы известны, но не участвуют в обучении, поэтому выделение контрольной группы позволяет получить более точное представление о средней ошибке прогнозирования, которая будет допускаться искусственной нейронной сетью.

С помощью режима проверки качества обучения программы «Neural Train» пользуясь (4) построим зависимость средней ошибки в контрольной группе от длины обучающей выборки

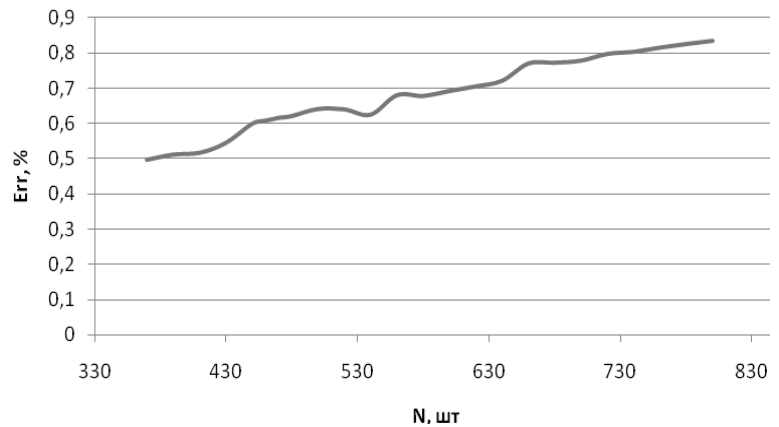


Рисунок 2 – Изменение средней ошибки на обучающей выборке в зависимости от длины обучающей выборки

$$Err_{control} = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C \frac{|Y_i - d_i|}{d_i} \cdot 100\% . \quad (4)$$

где C – общее количество примеров в контрольной группе, в представленном случае C = 30.

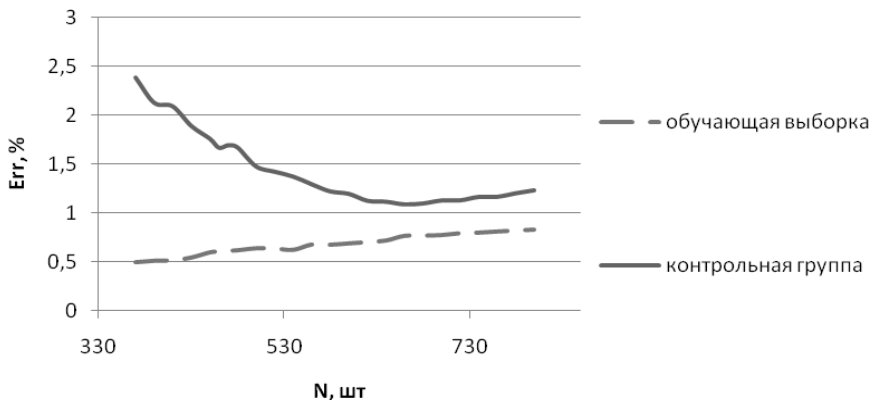


Рисунок 3 – Изменение ошибки в контрольной группе и ошибки на обучающей выборке в зависимости от длины обучающей выборки (M = 168)

Полученные результаты показывают, что минимум средней ошибки 1,09% для сети с 168 синапсами и пороговыми значениями достигается при обучении на выборке длиной около 660 примеров.

На практике нередко ситуации, когда разработчик сталкивается с некоторым недостатком данных для обучения. Так рассмотрим ситуацию, когда доступны лишь 500 обучающих примеров. Минимальная

ошибка в контрольной группе сети с 168 синапсами и пороговыми значениями в этом случае будет равна

$$Err_{control} |_{N=470} = 1,69\% ; C = 30 ; N = 500 - 30 = 470 ,$$

(см. рисунок 3), что больше минимального значения почти на 0,6%. Исходя из вышеизложенных соображений можно предположить, что ИНС с меньшим количеством настраиваемых параметров может показать меньшую минимальную ошибку в контрольной группе. За счет уменьшения количества синапсов во входном слое сократим предыдущую сеть до 120 настраиваемых параметров.

После тестирования получаем следующие результаты

Минимум ошибки $Err_{control.min} = 1,2\%$ для сети с 120 синапсами и пороговыми значениями достигается при обучении на выборке длиной около 460 примеров (см. рисунок 4). Минимуму ошибки в контрольной группе соответствует ошибка на обучающей выборке $Err_{train} |_{N=460, M=120} = 0,82\%$. При $N = 470$ ошибка на обучающей выборке сети со 168 настраиваемыми параметрами равна 0,62%, то есть меньше чем у сети со 120 параметрами $Err_{train} |_{N=470, M=120} = 0,83\%$. Однако в контрольной группе при $N = 470$ сеть с большим числом настраиваемых параметров имеет ошибку $Err_{control} |_{N=470, M=168} = 1,69\%$ против

$Err_{control} |_{N=470, M=120} = 1,23\%$ у меньшей сети, поэтому вариант сети с меньшим числом синаптических весов для данной длины обучающей выборки следует признать лучшим. Данные рассуждения показывают важность контроля ошибки не только на обучающей выборке, но и в контрольной группе.

Основные результаты, полученные в рамках проведенных исследований:

1 При разработке искусственной нейронной сети необходимо производить проверку качества прогнозирования на примерах контрольной группы, в противном случае, разработчик рискует выбрать вариант сети, далекий от оптимального.

2 При выборе архитектуры ИНС, количества нейронов и прилегающих синапсов необходимо отталкиваться от общего количества известных примеров, которые можно использовать для обучения.

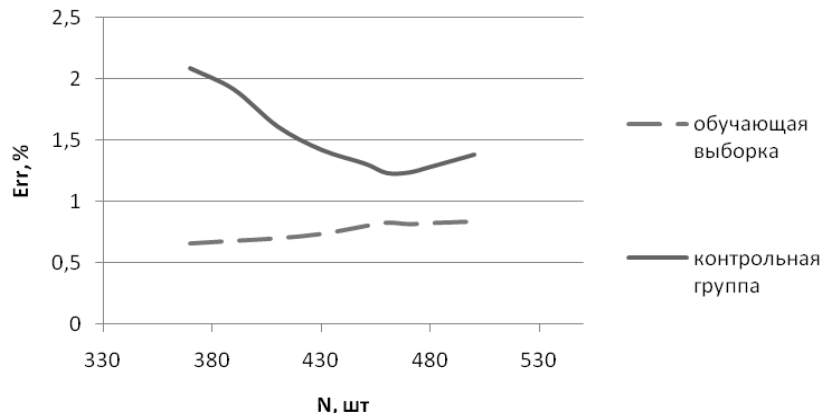


Рисунок 4 – Изменение ошибки в контрольной группе и ошибки на обучающей выборке в зависимости от длины обучающей выборки ($M = 120$)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. / С. Хайкин. -2-е изд. -М.: Вильямс, 2006. -1104 с.
- 2 Гилл, Ф. Практическая оптимизация: пер. с англ. / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. -М.: Мир, 1985. -509 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прогнозирование, нейронные сети, обучение
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 Демидас Юрий Михайлович, начальник управления ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз»
 Макаров Илья Сергеевич, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 629807, г. Ноябрьск, ул. Ленина, 59, ОАО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз»

РЕЗИСТИВНО-ИНДУКТИВНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ КАК РЕЦЕПТОР РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
 ООО «Производственное научное предприятие «Болид»

Ю.М. Денчик, П.А. Дзюба, М.З. Рамазанов, Д.А. Шкитов, Л.И. Сарин

RESISTANCE-INDUCTANCE NEUTRAL GROUNDING MEDIUM-VOLTAGE NETWORK AS A RECEPTOR REGIONAL POWER SYSTEM

«Novosibirsk state academy of water transport»
 Industrial scientific enterprise «Bolid»
 Ju.M. Denchik, P.A. Dzuba, M.Z. Ramazanov, D.A. Shkitov, L.I. Sarin

Experimental results on the effectiveness of the introduction of neutral grounding leniya 35 kV network through the reactor and arcing high impedance resistor. It is recommended that to grounding of neutrals such as receptor-governmental regional power systems.

Keywords: resistor, arcing reactor, mode, the network medium voltage waveform

Приведены экспериментальные результаты эффективности внедрения заземления нейтрали сети 35 кВ через дугогасящий реактор и высокоомный резистор. Рекомендуется рассматривать такое заземление нейтралей как рецепторы региональных электроэнергетических систем.

Компенсированные электрические сети среднего напряжения (от 6 до 35 кВ) Западной Сибири являются загруженными и протяжёнными линиями электропередачи, имеют значительный физический износ. Рабочее заземление этих сетей представляют следующие спо-

события заземления нейтралей: через дугогасящие реакторы (ДГР), через активные и индуктивные сопротивления, малые или большие. При нормальном режиме сети рабочее заземление не отражается на её работе [1]. Однако при технологических нарушениях режима, например, при повреждении изоляции проводов в землю, проходит ток и нарушается симметрия напряжений проводов относительно земли. В этих случаях указанные способы заземления нейтрали по многим причинам не всегда обеспечивают качественное функционирование сети на время отыскания и устранения повреждения изоляции [2].

В связи с этим в статье излагается опыт расчёта, внедрения и проверки эффективности заземления нейтрали сети 35 кВ через ДГР и высокоомный резистор. Это перспективное рабочее заземление, которое имеет определённые преимущества.

В качестве полигона исследования представляется электрическая компенсированная сеть 35 кВ подстанции «Тяжинская» 110/35/10 ВЭС ОАО «Кузбассэнерго» (г. Кемерово), главный инженер, видя перспективу организации безаварийной работы своих сетей, взяв на себя ответственность за внедрение и испытания в производственных условиях резистивно-индуктивного заземления нейтрали, а ООО «ПНП Болид» (г. Новосибирск) изготовило и установило необходимый резистор.

Упрощённая схема исследуемой сети 35 кВ, отображающая основные элементы, формирующие переходные процессы при плановых и аварийных коммутациях, представлена на рисунке 1. Питание электрической сети 35 кВ подстанции «Тяжинская» осуществляется со стороны шин 110 кВ через трёхобмоточные трансформаторы Т1 и Т2 типа ТДТН-

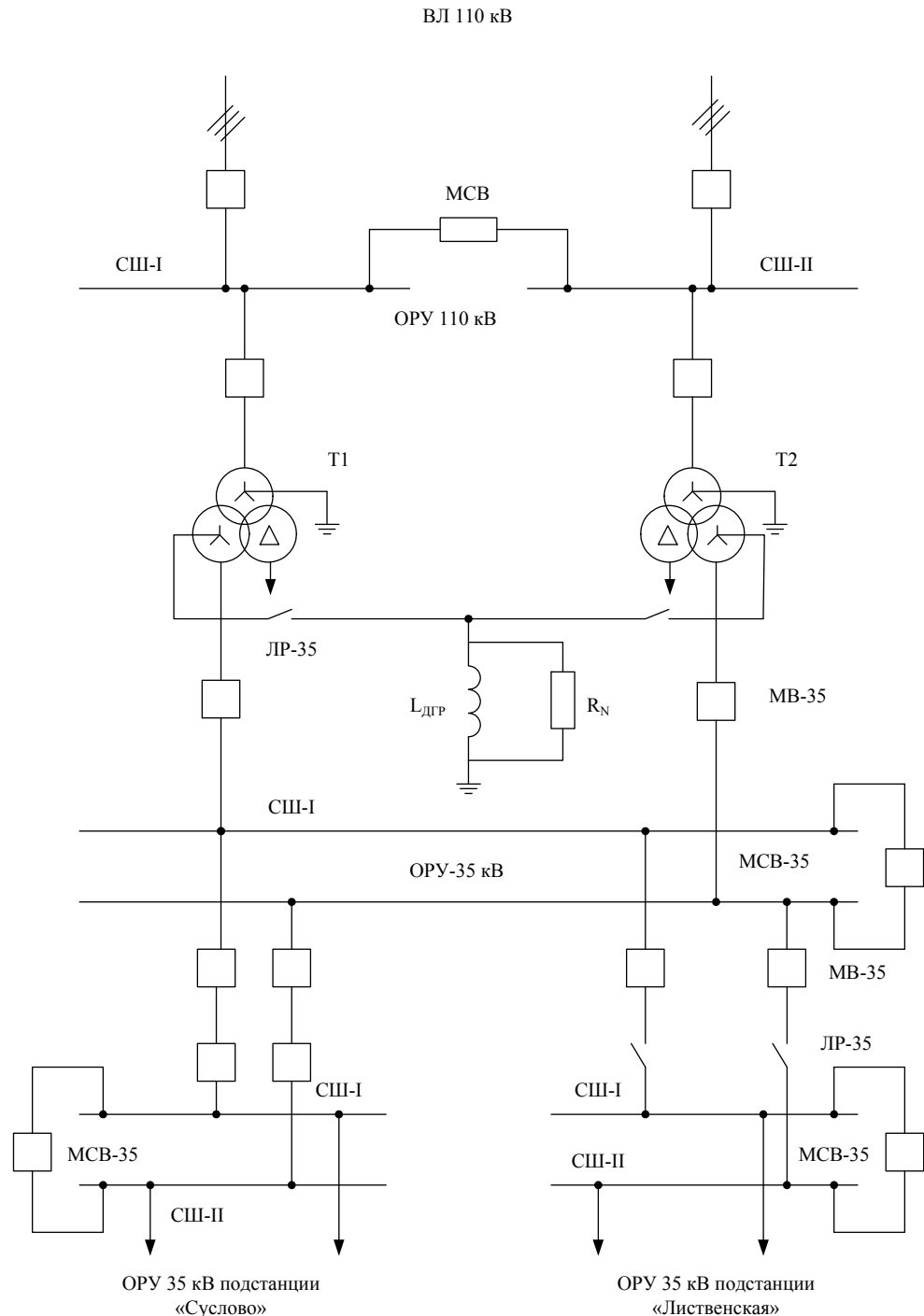


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема сети 35 кВ полигона исследования

25000/110 110/35/10 кВ мощностью 25 мВ·А каждый. Нейтраль трансформаторов со стороны напряжения 110 кВ работает в режиме эффективно заземлённой нейтрали; обмотка напряжения 10 кВ соединена в треугольник; для компенсации ёмкостного тока в нейтрали обмоток 35 кВ Т1 и Т2 включён ДГР типа ЗРОМ-550/35 со ступенчатой регулировкой тока 12,5-25 А. В нормальном режиме секции шин 35 кВ объединены (межсекционный выключатель замкнут). Распределительная сеть 35 кВ состоит в основном из одноцепных воздушных линий [84]. Суммарный расчётный ёмкостный ток воздушных присоединений 35 кВ составляет 22,18 А (СШ-I – 11,91 А, СШ-II – 10,27 А).

Согласно [3] ДГР должен работать с точной настройкой, то есть в четвёртом положении (21,2 А). Максимальная продолжительность работы в этом положении при однофазном металлическом замыкании составляет 4 ч. В третьем положении (18,0 А) продолжительность работы ДГР не ограничивается. Работа ДГР на подстанции осуществляется со значительной недокомпенсацией (3,2 А), что периодически обуславливало пробои изоляции силовых трансформаторов 35/10 кВ, повреждения трансформаторов напряжения и разрядников 35 кВ.

Для расчёта сопротивления резистора R_N , который параллельно подключается к ДГР в нейтрали (рисунок 1), использовался комплекс программ МАЭС, предназначенный для расчёта электромагнитных переходных процессов в электроэнергетических системах. Резистор способствует быстрому снижению свободных колебаний, гашению биений и снижению напряжения на повреждённой фазе, снижению напряжения на нейтрали до значения, исключающего эскалацию перенапряжений при последующих пробоях ослабленной изоляции аварийной фазы. Расчётные значения напряжения смещения нейтрали в зависимости от сопротивления R_N приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчётные значения напряжения смещения нейтрали

R_N , Ом	U_0 , кВ	U_0 , %
4000	709	3,5
8000	1233	6,1
16000	1940	9,6

Таблица 2 – Результаты замеров напряжений смещения нейтрали сети 35 кВ подстанции «Тяжинская»

Схема питания потребителей	Напряжение смещения нейтрали, кВ										Примечания
	резистор отключен					резистор 8000 Ом, подключен					
	положение ДГР, А					положение ДГР, А					
	12	15,2	18	21,2	24,4	12	15,2	18	21,2	24,4	
Нормальная, МСВ-35 пс «Тяжинская» отключён	2,55	0,81	0,50	0,34	0,266	1,20	0,70	0,436	0,324	0,26	ДГР и R_N подключены к Т-1 (СШ-I)
	0,56	0,292	0,196	0,148	0,109	0,392	0,248	0,182	0,142	0,102	ДГР и R_N подключены к Т-2 (СШ-II)
Нормальная, МСВ-35 включён	0,28	0,50	1,38	1,50	0,488	0,256	0,38	0,68	0,68	0,388	ДГР и R_N подключены к Т-1 (СШ-I)
МСВ-35 отключен; МВ-35, МСВ-35 пс «Суслово» и пс «Лиственская» подключены к СШ-I	1,10	8,20	0,90	0,468	0,324	0,76	1,20	0,70	0,456	0,304	ДГР и R_N подключены к Т-1 (СШ-I)
	0,324	0,226	0,176	0,132	0,115	–	–	–	–	–	ДГР и R_N подключены к Т-2 (СШ-II)
МСВ-35 отключен; пс «Суслово» подключена к СШ-I, пс «Лиственская» к СШ-II	2,30	1,68	0,62	0,376	0,28	1,0	0,90	0,62	0,376	0,28	ДГР и R_N подключены к Т-1 (СШ-I)

По условиям электробезопасности и допустимой величины потенциала нейтрали выбирается резистор $R_N = 8000 \pm 800$ Ом, номинальной мощностью 51 кВт, для включения под напряжением 35 кВ.

При проверке достоверности полученных теоретических положений и расчётов выполнялись измерения напряжения смещения нейтрали, заземлённой только через ДГР; при заземлении через ДГР с параллельно включённым резистором типа РЗ-8000-51-35, а также перенапряжений при однофазном дуговом замыкании на землю (ОДЗ), когда нейтраль заземлена через ДГР с параллельно включённым резистором.

Измерение напряжения смещения нейтрали осуществлялось электростатическими киловольтметрами типа С-196 и С-511 (относительная ошибка измерений $\pm 3\%$) посредством кратковременного касания к нейтрали трансформаторов Т1 и Т2. Результаты измерений напряжения смещения нейтрали при различных способах её заземления приведены в таблице 2.

Осциллографировались также перенапряжения при ОДЗ (рисунок 2). Для создания искусственного ОДЗ использовался специальный искровой промежуток (ИП).

Вращательно-поступательное движение одного из электродов обеспечивало зажигание и погасание дуги. Характерные осциллограммы напряжений в повреждённой фазе С и неповреждённой приведены на рисунке 3. Перенапряжения не превышали значений от 1,8 до 2,5 амплитуды фазного напряжения.

Анализ полученных результатов позволяет сформулировать следующее заключение:

– несимметрия напряжения в сети 35 кВ при отключённых ДГР и резисторе (105 В) соответствует нормам [3];

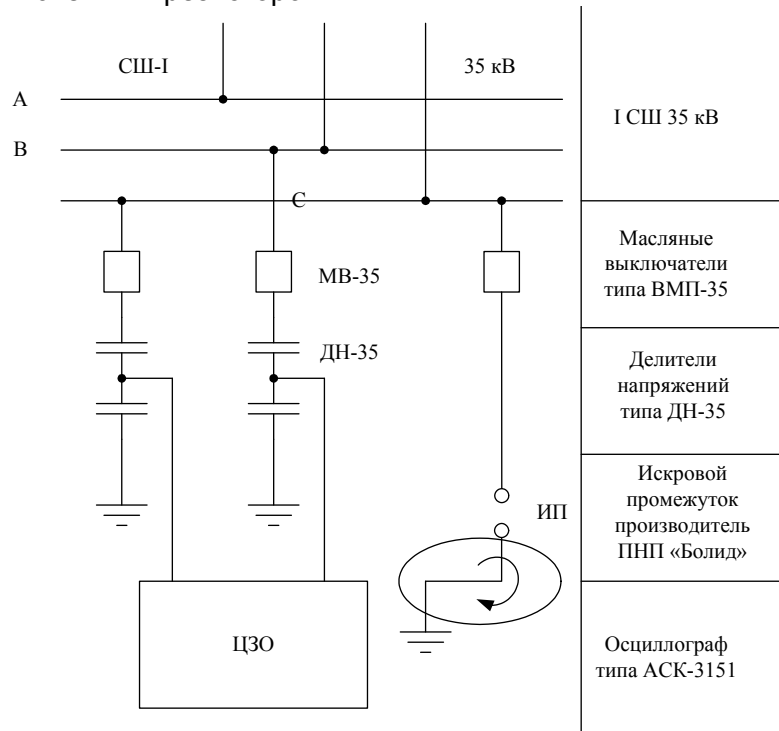


Рисунок 2 – Схема осциллографирования перенапряжений при дуговых однофазных замыканиях на землю в сети 35 кВ

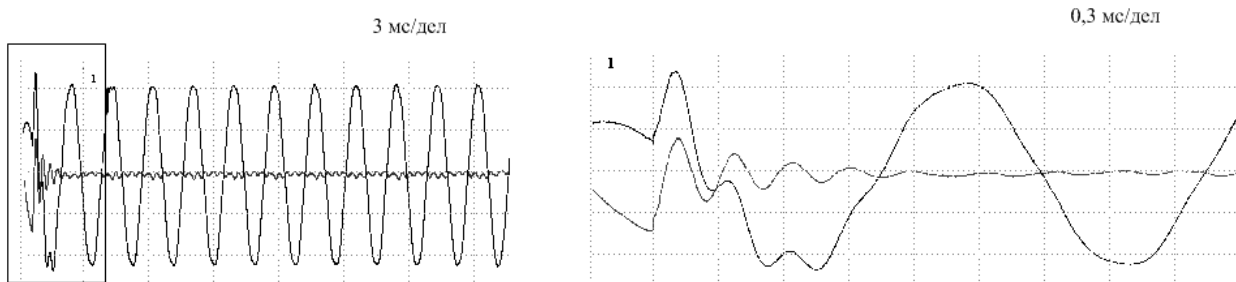


Рисунок 3 – Осциллограммы напряжений в повреждённой и неповреждённой фазах сети 35 кВ при однофазном дуговом замыкании на землю: масштаб по оси напряжения – 17,5 кВ/дел.

– при изменениях схемы сети 35 кВ, к нейтрали которой подключен только ДГР, зафиксирован резонансный рост напряжения смещения нейтрали при приближении ёмкостного тока сети к индуктивному току ДГР. Наибольшее измеренное значение напряжения смещения нейтрали – 8,2 кВ (40,6% от номинального фазного напряжения), что превышает нормы, установленные [1, 3];

– подключение резистора РЗ-8000-51-35 параллельно ДГР приводит к снижению напряжения смещения нейтрали при различных схемах сети 35 кВ. Напряжение смещение нейтрали с 8,2 кВ уменьшилось до 1,2 кВ (6% от номинального фазного напряжения). Следовательно, подключение резистора параллельно ДГР ограничивает рост напряжения смещения нейтрали до нормируемых значений [85];

– при дуговых однофазных замыканиях на землю перенапряжения в сети не превышали допустимых значений [1].

Таким образом, экспериментально подтверждена эффективная работа компенсированной сети 35 кВ полигона исследования как рецептора при параллельном включении заземляющего высокоомного резистора и ДГР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электрическая часть станций и подстанций: учеб. для вузов / А.А. Васильев [и др.]; под ред. А.А. Васильева. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -576 с.
- 2 Компенсированная и комбинированно заземлённая нейтраль / Л.И. Сарин [и др.] // Новости электротехники. -2007. - №2(44). -С. 68-72.
- 7 ТИ 34.20.179-88. Типовая инструкция по компенсации ёмкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ. -М.: СПО «Союзтехэнерго», 1988. -55 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *резистор, дугогасящий реактор, режим, сеть среднего напряжения, осциллограмма*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

Дзюба Павел Анатольевич, соискатель ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Рамазанов Мурат Зикенович, канд. техн. наук, соискатель ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Шкитов Денис Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Сарин Леонид Иванович, директор ООО ПНП «Болид»

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

630015, г. Новосибирск, ул. Электрозаводская, 2, корп. 6, ООО «ПНП Болид»

ВОДОЕМЫ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

М.А. Бучельников, А.А. Перфильев, А.В. Панов, В.А. Чирков, О.В. Спиренкова, А.С. Тушина, Е.К. Рощина

RESERVOIRS OF THE NOVOSIBIRSK CITY

«Novosibirsk state academy of water transport»

M.A. Buchelnikov, A.A. Perfiliev, A.V. Panov, V.A. Tchirkov, O.V. Spirenkova, A.S. Tushina, E.K. Roshtina

Are carried out hydrological and hydro-ecological studies of 58 reservoirs in Novosibirsk. The data of the distribution of reservoirs on the form, the place of the presence, the volume, the depth, the area of mirror are cited. Recommendations regarding their use are given.

Keywords: aqueous objects, ponds, the irrigated quarries, inventory, morphometric characteristics

Проведены гидрологические и гидроэкологические исследования 58 водоемов в г. Новосибирске. Приведены данные распределения водоемов по виду, месту нахождения, объему, глубине, площади зеркала. Даны рекомендации по их использованию.

Поверхностные водные объекты государственного водного фонда Новосибирской области представлены на территории города Новосибирска рекой Обью с крупными притоками – реками Иня и Тула, малыми реками и водоемами – частью Новосибирского водохранилища, а также прудами, обводненными карьерами, естественными озерами и болотами. На гидрологический режим и экологическое состояние водных объектов города влияет совокупность природных и антропогенных факторов.

Мэрия города Новосибирска проводит системную работу, направленную на улучшение состояния водных объектов. Однако до настоящего времени данная работа касалась в первую очередь водотоков, больших и малых рек, тогда как водоемам, находящимся в пределах городской черты, внимание практически не уделялось [1].

Анализ существующей информации показал, что данные о водоемах, находящихся в черте г. Новосибирска фрагментарны, научные публикации отсутствуют. Общее количество водных объектов, их виды, размеры, объемы содержащейся воды, как правило, неизвестны.

На основании имеющегося картографического материала специалистами Новосибирского городского комитета охраны окружающей среды и природных ресурсов было определено 58 водных объектов, а трудовым коллективом кафедры водных изысканий и гидроэкологии ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» была проведена их паспортизация.

Методика исследований. Исследования проводились с мая по сентябрь 2011 года. В ходе выполнения работ использовались современные приборы и оборудование: спутниковый навигатор GPS «Trimble R3»; эхолот «Garmin»; лазерные дальнометры. Данное оборудование позволяет определять все морфометрические параметры водных объектов с точностью, достаточной для гидрографических изысканий [2]. Измерение глубин водного объекта проводилось с шагом 30 м, а в случае сложного рельефа дна и чаще. Прибор спутниковой навигации устанавливался на промерном судне (моторная лодка «Корсар»), причем, антенна GPS-приемника совмещалась на одной оси с забортным устройством эхолота. С помощью программы Trimble DTM Link создавалась «цифровая модель местности» (рельеф дна водоема в изобатах) и рассчитывалась площадь зеркала и объем воды.

Средняя глубина водоема определялась как отношение объема воды к площади зеркала. Площадь береговой полосы рассчитывалась как площадь полосы земли вдоль береговой линии водного объекта шириной 20 м.

На каждый водный объект был составлен паспорт, включающий в себя сведения о наименовании объекта, его местоположении, состоянии путей подъезда, морфометрических параметрах, характеристиках береговой линии, типах донных грунтов. Также было оценено антропогенное влияние на водоемы и даны краткие характеристики по их дальнейшему использованию. В качестве приложения к паспорту были составлены картосхемы (в масштабах от 1:1000 до 1:10000) с изобатами и профили водоемов по наибольшей длине.

Результаты и их обсуждение. В качестве примера приведем образец паспорта одного из водных объектов (таблица 1) с картосхемой и профилем глубин (рисунок 1 и 2). Данный

ЭКОЛОГИЯ

паспорт составлен на самый большой в городе обводненный карьер, расположенный у Юго-Западного жилмассива (объем воды в нем составляет 2810,79 тыс. м³ то есть больше, чем суммарный объем всех иных обследованных водных объектов).

Таблица 1 – Паспорт водного объекта

1	Наименование
	Карьер обводненный (без названия)
2	Местоположение
	На Юго-Западном жилом массиве. Координаты объекта: 82,822930° в.д. 54,971497° с.ш. Высота БС, м – 98
3	Наличие и состояние путей подъезда
	Асфальтированная дорога, состояние хорошее.
4	Морфометрические характеристики
	Длина, м – 2078 Максимальная ширина, м – 221 Площадь зеркала, тыс. м ² – 343,35 Объем воды, тыс. м ³ – 2810,79 Средняя глубина, м – 8,20 Максимальная глубина, м – 18,8 Длина береговой линии, м – 4509 Площадь береговой полосы, м ² – 90520
5	Характеристика береговой линии
	Склоны большей частью пологие, песчаные, с примесью глины. По берегам луговая растительность, кустарник (ива).
6	Типы донных грунтов и мощность илистых отложений
	Преимущественно песчаный с примесью гальки, илистые отложения малой мощности, гниющих растительных остатков нет.
7	Наличие притоков, истоков, прилегающих болот, ключей
	Притоки и истоки в меженный период отсутствуют, прилегающих болот и ключей нет.
8	Характер антропогенного воздействия на прибрежную зону (на расстоянии 100 м от береговой линии)
	Антропогенное воздействие на прибрежную зону средней интенсивности. С юго-восточной стороны расположена территория товарной железнодорожной станции Клешиха. С восточной стороны ведется строительство многоэтажных жилых домов. Весь северный берег занят одноэтажной жилой застройкой. Имеется обширный песчаный пляж. Скопления отходов, свалок, мест отвода стоков не обнаружено. Источник загрязнения – небольшое количество бытового мусора.
9	Рекомендации по охране и рациональному хозяйственному использованию
	Рекреационный объект, размеры которого позволяют проводить в его акватории водно-спортивные мероприятия. Возможно использование в качестве источника воды для ближайших частных домостроений.
10	Сведения о гидрологическом режиме (источники питания)
	Грунтовые воды, снеговое и дождевое питание.

Как уже было сказано ранее, в ходе работ было обследовано 58 водных объектов находящихся в черте г. Новосибирска. Из них водоемами можно считать 53 объекта. Из данного числа 31 водоем может быть отнесен к прудам, 17 к обводненным карьерам и 5 к естественным озерам.

Можно дать и более подробную классификацию каждой группе водоемов. Так пруды можно разделить на три категории:

1 Пруды садовых обществ (как правило, небольшие сточные или бессточные водоемы используемые для накопления воды для полива и в качестве пожарных водоемов) – 21 водоем.

2 «Городские» пруды (пруды, окруженные жилыми строениями и иными одно- или многоэтажными зданиями) – 2 водоема.

3 «Загородные» пруды (пруды, не имеющие какого-либо определенного хозяйственного назначения периодически используемые жителями для рекреации и любительского рыболовства) – 8 водоемов.

На аналогичные категории можно разделить и обводненные карьеры (8 и 6 водоемов соответственно).

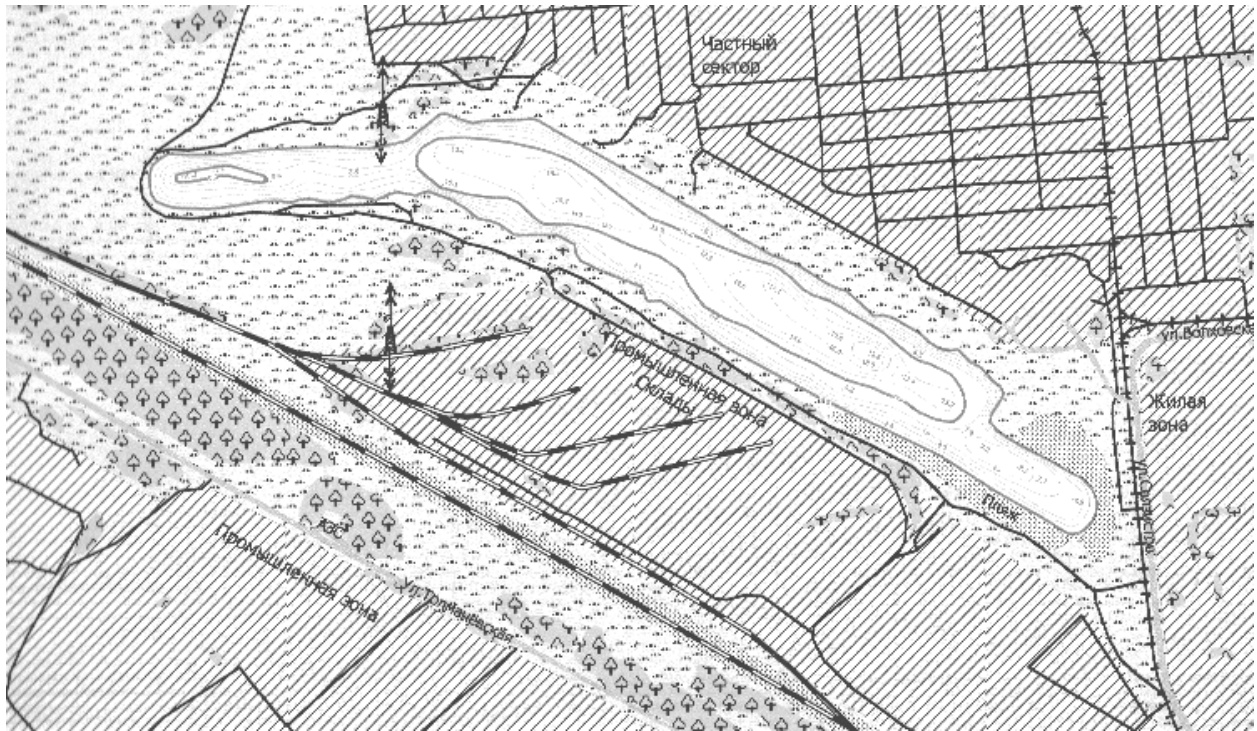


Рисунок 1 – Картограмма обводненного карьера у Юго-Западного жилмассива

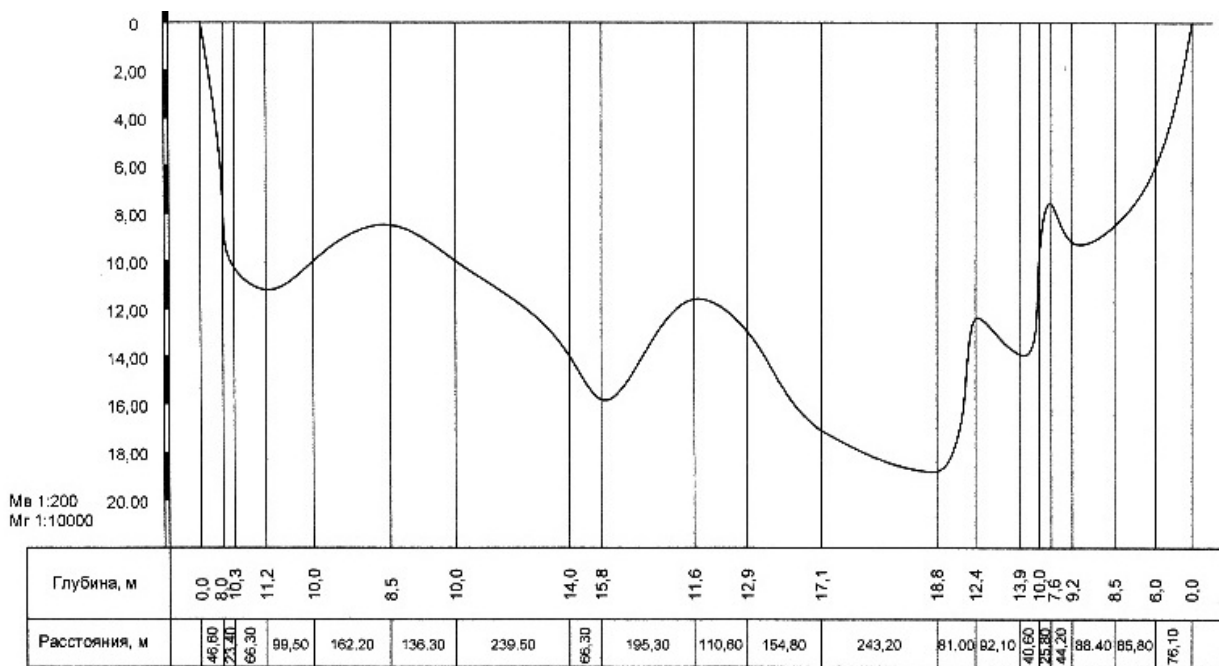


Рисунок 2 – Профиль глубин обводненного карьера у Юго-Западного жилмассива (по наибольшей длине водоема)

Среди обследованных озер можно выделить два типа:

1 Пойменное озеро – 4 водоема. Эти водоемы располагаются в правобережной пойме реки Обь и представляют собой только малую часть из множества озер, староречий, проток, болот данного района часть из которых имеют постоянную связь с основным руслом, часть – только в период высоких уровней воды или не имеет связи вообще.

2 Котловинное озеро (в естественной впадине рельефа) – 1 водоем.

По объему воды нами выделено три категории водоемов: до 10 тыс. м³, от 10 до 100 тыс. м³, и свыше 100 тыс. м³. В таблице 2 приведены данные о количестве водоемов в каждой категории и о суммарном объеме воды.

Средняя глубина 25 водоемов не превышает 1 м, еще 18 – от 1 до 2 м и 4 водоема – от

2 до 3 м. Отдельной группой стоят водоемы (все относятся к категории обводненных карьеров) чья средняя глубина составляет более от 5 до 8 м.

Таблица 2 – Категории водоемов по объему воды

Категория	Количество водоемов	Суммарный объем воды, тыс. м ³
до 10 тыс. м ³	32	137,44
от 10 до 100 тыс. м ³	13	323,98
свыше 100 тыс. м ³	8	4976,25

Антропогенное воздействие на 7 водоемов можно оценить как очень интенсивное, 27 водоемов испытывают среднюю антропогенную нагрузку, 18 – низкую, для 5 она практически отсутствует. Первоочередного внимания и наибольших затрат на обустройство потребуют водоемы, расположенные в непосредственной близости от жилых кварталов, подвергающиеся существенной антропогенной нагрузке.

В заключении необходимо отметить, что инвентаризованные водные объекты разнообразны и по своему происхождению и по хозяйственному назначению, поэтому отнесение их к различным группам может способствовать составлению наиболее рациональной программы по их обустройству, рациональному использованию и охране. Такую программу рекомендуется разработать в самое ближайшее время и приступить к ее реализации с 2012 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Обзор состояния окружающей среды в г. Новосибирске за 2009 г. / Департамент энергетики, жилищ. и коммун. хоз-ва г. Новосибирска, Новосиб. гор. ком. охраны окружающей среды и природ. ресурсов. -Новосибирск, 2010.
 2 Всеволожский, В.А. Основы гидрогеологии / В.А. Всеволожский. -М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1991.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водные объекты, пруды, обводненные карьеры, инвентаризация, морфометрические характеристики

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бучельников Михаил Александрович, канд. биолог. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Перфильев Аркадий Анатольевич, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Панов Аркадий Васильевич, зав. лабораторией ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Чирков Валерий Александрович, зав. лабораторией ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Спиренкова Ольга Владимировна, преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Тушина Александра Сергеевна, инженер ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Рощина Екатерина Константиновна, инженер ФБОУ ВПО «НГАВТ»

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

УРОВНИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРЕДУСКОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ПЖД-30

Новосибирское высшее военно-командное училище (военный институт) МО РФ
 ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Ю.Г. Максимейко, А.А. Новоселов, А.Л. Новоселов

THE LEVEL OF HARMFUL EMISSIONS OF THE PRE-HEATER ПЖД-30
 «Novosibirsk higher military command school (military institute)»
 «Altai state technical university named I.I. Polzunova»
 Yu.G. Maksimeiko, A.A. Novoselov, A.L. Novoselov

The changes of the composition of the exhaust gases of pre-heater ПЖД-30 have been shown and the effectiveness of their purification depending on the temperature of the catalytic converter blocks has been determined.

Keywords: engine block heater, exhaust fumes, catalytic converter

Показано изменение состава отработавших газов предпускового подогревателя ПЖД-30 и определена эффективность их очистки в зависимости от температуры каталитических блоков нейтрализатора.

Атмосферный воздух, используемый в предпусковых подогревателях в качестве окислителя, содержит следующие основные компоненты (в объемных долях): азот – 0,7808; кислород – 0,2095; аргон – 0,0093; диоксид углерода – 0,0003; прочие газы – 0,0000246 и пары веществ.

При сгорании дизельного топлива в камере сгорания предпускового подогревателя на выпуске отработавшие газы содержат (в объемных долях) следующие компоненты: азот – 0,76-0,78; кислород – 0,02-0,09; пары воды – 0,005-0,040. Более подробного анализа состава

отработавших газов предпусковых подогревателей, работающих на дизельном топливе, в известных опубликованных источниках не приведено.

В целях восполнения знаний, позволяющих учитывать долю загрязнения окружающей среды вредными выбросами предпусковых подогревателей дизелей были проведены исследования состава отработавших газов на стационарном стенде в Новосибирском ВВКУ в зимнее время.

В литературе также не отражены сведения об использовании каталитических нейтрализаторов одновременно для дизелей и их предпусковых подогревателей.

Определение состава отработавших газов предпускового подогревателя ПЖД-30 при различных значениях коэффициента избытка воздуха в камере сгорания проведено в период зимней эксплуатации при температуре окружающей среды $T_o = 248-249$ К, давлении $p_o = 762$ мм рт. ст., влажности $W_o = 82\%$, скорости ветра $V_g = 10$ м/с.

Особенностями докомплектации установки явились следующие:

- Частота вращения электродвигателя насосного агрегата (воздухонагнетателя и жидкостного насоса) регулировалась реостатом;
- Расход воздуха определялся с помощью сдвоенной диафрагмы и дифференциального манометра.

Многоступенчатый каталитический нейтрализатор с СВС-блоками (характеристики которых приведены в таблице 1) был рассчитан для очистки отработавших газов дизелей с расходами до 950 м³/ч.

Таблица 1 – Характеристики пористых проницаемых СВС-каталитических блоков для нейтрализаторов

Состав шихты	
Компоненты шихты для изготовления СВС-блоков	Содержание, % (по массе)
Окалина легированной стали 18ХНВА, 18 ХНМА	47,5
Оксид хрома	17,9
Хром ПХ-1 по ТУ 882-76	6,9
Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79	12,4
Алюминий АСД-1 по ТУ 485-22-87	15,2
Иридий	0,1
Родий	0
Медь	0
Эффективность очистки отработавших газов при номинальной мощности; $T_{oe} = 833$ К; $T_{кат} = 833$ К	
Компоненты отработавших газов	Снижение содержания, %
Оксиды азота, NO _x (суммарно)	52
Оксид углерода, СО	86
Углеводороды, C _x H _y (суммарно)	67
Твердые частицы	85
Характеристики каталитических блоков	
Средний размер пор в сечении, мкм	150
Механическая прочность при сжатии, МПа	12,2
Извилистость пор	1,39
Коррозионная стойкость по изменению массы, %	10
Пористость материала, %	40

Эксперимент проводился, как правило, в одни сутки, что позволяло вести наблюдение при изменении атмосферных условий.

После проведения серии экспериментов блок дизеля проливался холодным тосолом из запасного бака, что давало возможность стабилизировать температуру в ускоренном темпе.

Предпусковой подогрев составлял 25 минут. За это время температура масла в поддоне поднималась до 308 К, температура охлаждающей жидкости на выходе из блока до 353 К. Температура каталитических блоков поднималась до 620 К.

Результаты экспериментального исследования приведены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 видно, что при увеличении коэффициента избытка воздуха с $\alpha'_1 = 1,20$ до $\alpha'_1 = 1,60$ выбросы оксидов азота с отработавшими газами увеличиваются в 1,64 раза, выбросы продуктов неполного сгорания сокращаются: углеводородов – в 1,39 раза; оксида углерода – в 1,50 раза; твердых частиц – в 1,60 раза.

Вместе с тем, для дизелей, эксплуатируемых в условиях безгаражного хранения и отрицательных температур окружающей среды, оборудованных предпусковыми подогревателями, актуальным становится вопрос о включении времени предпускового подогрева и учете загрязнений атмосферы вредными выбросами подогревателей при определении экономического ущерба, наносимого окружающей среде.

Таблица 2 – Содержание вредных веществ в отработавших газах предпускового подогревателя ПЖД-30 дизеля КамАЗ-740, $T_{ce} = 833 \text{ K}$

Вредные компоненты отработавших газов (нормируемые)	Коэффициент избытка воздуха, α'				
	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Оксиды азота, NO_x , г/м^3	1,499	1,643	1,848	2,054	2,464
Углеводороды (суммарно), $\text{C}_x\text{H}_y \times 10^{-3}$ г/м^3	4,78	4,21	3,86	3,57	3,43
Оксид углерода, CO , г/м^3	0,413	0,375	0,337	0,313	0,275
Твердые частицы, ТЧ , г/м^3	0,24	0,20	0,18	0,16	0,15

В этом случае в расчетах учитываются выбросы всех нормируемых веществ. Следует учесть и то обстоятельство, что в ряде случаев предусмотрено участие предпусковых подогревателей и в период послепускового прогрева дизелей. В этом случае приходится иметь дело одновременно с выбросами дизелей и предпусковых подогревателей.

Использование в системах выпуска каталитических нейтрализаторов одновременно от дизелей и предпусковых подогревателей до настоящего времени не описано в опубликованных источниках и требует более детального изучения.

В рассматриваемом случае нет необходимости анализа ситуации с точки зрения выполнения норм ЕВРО-стандартов, потому что дизель одновременно не работает с предпусковым подогревателем по 13-режимному испытательному циклу.

С другой стороны, есть необходимость рассмотрения вопроса очистки отработавших газов предпускового подогревателя в каталитическом нейтрализаторе в процессе прогрева каталитических блоков последнего в течение периода предпусковой подготовки.

Направление отработавших газов предпускового подогревателя в каталитический нейтрализатор служит для выполнения одновременно двух задач: очистки их от продуктов неполного сгорания и оксидов азота и использования их тепла для предпускового разогрева каталитических блоков.

Результаты качества очистки отработавших газов предпускового подогревателя в каталитических блоках приведены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что вместе с прогревом каталитических блоков заметное влияние на снижение выбросов оксидов азота обнаруживается с температуры 713 К, углеводородов – с температуры около 593 К, оксида углерода – с температуры 713 К. Сокраще-

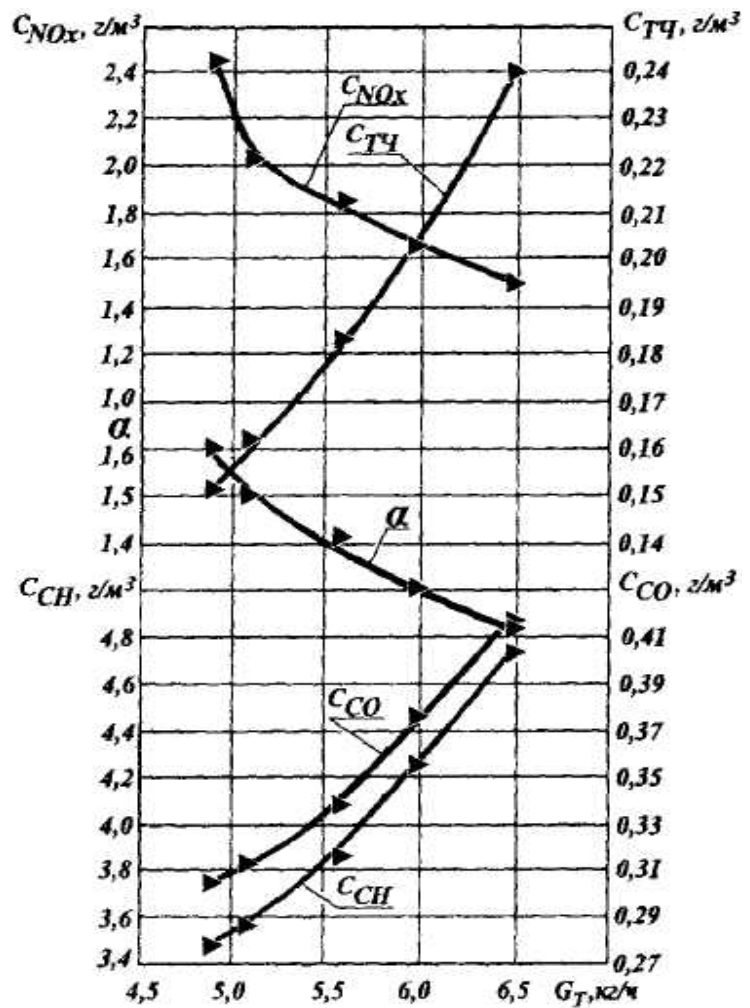


Рисунок – Уровни вредных выбросов с отработавшими газами предпускового подогревателя ПЖД-30 в зависимости от расхода топлива

ние выбросов твердых частиц начинается с температуры воспламенения сажи.

Таким образом, установлен состав отработавших газов в зависимости от коэффициента избытка воздуха и определена эффективность очистки отработавших газов предпускового подогревателя в зависимости от температуры каталитических блоков нейтрализатора.

Таблица 3 – Эффективность очистки отработавших газов предпускового подогревателя в каталитическом нейтрализаторе при $\alpha'_1 = 1,3, \text{ г/м}^3$

Компоненты ОГ	Выбросы без КН г/м ³	Температура каталитических блоков, К						
		250	273	298	377	593	713	833
NO _x	1,643*	1,643	1,643	1,643	1,62	1,61	0,94	0,44
C _x H _y	4,210*	4,21	4,21	4,10	4,00	3,30	1,98	0,33
CO	0,375*	0,375	0,375	0,375	0,375	0,32	0,29	0,15
ТЧ	0,200*	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,02	0,02

*-при T_{оэ} = 833 К

Уровни вредных выбросов с отработавшими газами предпускового подогревателя в зависимости от расхода топлива приведены на рисунке.

Характерно то, что характеристики вредных выбросов сняты при одинаковой подаче воздуха, составляющей 87,32 м³/ч. Увеличение подачи топлива с 4,86 до 6,49 кг/ч привело к снижению выбросов оксидов азота в 1,64 раза. Выбросы продуктов неполного сгорания увеличиваются: твердых частиц – в 1,6 раза, оксида углерода – в 1,5 раза, углеводородов – в 1,39 раза. Складывается идентичная картина, представленная данными таблицы 2.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: предпусковой подогреватель, отработавшие газы, каталитический нейтрализатор
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Максимейко Юрий Григорьевич, доцент НВВКУ (ВИ) МО РФ
 Новоселов Александр Александрович, канд. техн. наук, инженер ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Новоселов Александр Леонидович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630117, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, НВВКУ (ВИ) МО РФ
 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ОЦЕНКА УРОВНЯ ШУМА ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

**А.Л. Новоселов, А.Н. Салмин, Г.В. Медведев,
 А.А. Новоселов, Д.С. Печеникова**

ESTIMATION OF NOISE LEVEL OF CATERPILLARS

«Altai state technical university named I.I. Polzunova»
 A.L. Novoselov, A.N. Salmin, G.V. Medvedev, A.A. Novoselov, D.S. Pechennikova

The estimation of sound pressure created by diesel and track is given with different velocities off-the-road in the process of working of the tentative type of the product design. Substantial excess of requirements to the maximum permissible level of sound pressure on the environment is determined.

Keywords: estimation, level, noise, caterpillar

Произведена оценка звукового давления создаваемого дизелем и гусеничной целью с различными скоростями движения по бездорожью в процессе отработки конверсионного варианта конструкции изделия. Выявлены значительные превышения норм предельно-допустимых уровней звукового давления на окружающую среду.

Шум транспортных дизелей является параметрическим (энергетическим) загрязнением окружающей среды. В транспортном комплексе источниками шума являются процессы механического, аэродинамического, гидродинамического происхождения. Прежде всего, шумность дизеля определяют процессы газообмена, выпуска отработавших газов, шума от систем охлаждения, вибраций корпусных деталей, колебаний на подвеске, удары.

В данной работе основное внимание уделено снижению шума дизеля системами выпуска, поскольку на системы выпуска, впуска приходится до 98% от общего уровня звукового давления.

Располагая множеством источников шума, гусеничная машина при движении создает

внешние шумы, воздействующие на окружающую среду, и внутренние шумы, воздействующие на членов экипажа, пассажиров. В процессе отработки конверсионных вариантов гусеничных машин была произведена оценка шумности гусеничной машины ГМ-520М.

Оценка внешнего шума была произведена для гусеничной машины ГМ-520М на расстоянии 7,5 м от осевой линии движения со скоростью 5 и 60 км/ч по бетонному покрытию. Одновременно измерялись уровни звукового давления в кабине на месте экипажа. Гусеничная машина была укомплектована дизелем Д20НР-250. На рисунке 1 в виде графиков представлены эти результаты. Следует отметить, что наибольший уровень шума по левому и правому борту до 96,5-95,5 дБА наблюдался при скоростях движения 20 и 60 км/ч, при 60 км/ч уровни шума по правому и левому борту соответственно достигали 98 и 97,5 дБА. Системы впуска и выпуска на этой машине расположены на правом борту, поэтому при всех скоростях движения уровень шума по правому борту оказывался выше на 2,5 дБА при скорости 5 км/ч, на 4,25 дБА при скорости движения 30 км/ч, на 3,8-3,0 дБА при скоростях 40 и 50 км/ч соответственно. При высоких скоростях движения около 60 км/ч уровни шума по правому и левому бортам практически не отличаются, что объясняется нами повышенными уровнями шума гусеничных цепей, возникающего за счет продольных колебаний на ведущей звездочке при перекачивании через нее звеньев. Эти выводы подтверждаются работой [1].

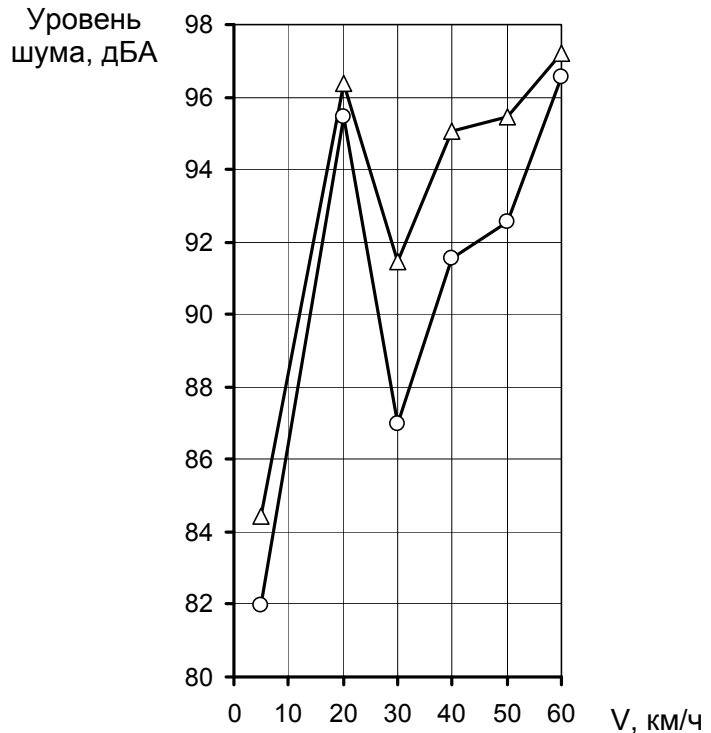


Рисунок 1 – Результаты оценки уровня внешнего шума при движении ГМ 520, Дизель УТД-29, на расстоянии 7,5 м от осевой линии: ○-левый борт, △-правый борт

Уровни звукового давления в кабине ГМ-520М возрастают в зависимости от увеличения скорости движения с 89 дБА при скорости 5 км/ч до 103 дБА при скорости 60 км/ч. это объясняется как увеличением частоты вращения дизеля, работающего по внешней скоростной характеристике, так и увеличением колебаний за счет увеличения частоты перекачивания звеньев гусениц через ведущие звездочки при увеличении скорости движения. Такое явление наблюдалось рядом исследователей, в том числе [2].

В целях определения уровней звука транспортного дизеля отдельно от всей машины были проведены испытания на гусеничной машине ГМ-520М на стоянке. Уровни звука определялись в кабине и пассажирском отсеке – кузове, при включенных вентиляторе, отопителе и стеклоочистителе в кабине, при включенном отопителе – в кузове.

Испытания были проведены по скоростной характеристике дизеля на холостом ходу. Они показали, что с ростом частоты вращения коленчатого вала дизеля (рисунок 2) происходит резкое повышение уровня звука. Например, при росте частоты вращения с 1000 мин⁻¹ до 2600 мин⁻¹ уровень звука в кабине возрастает при прочих одинаковых условиях с 84 дБА до 96 дБА, а в кузове – с 80 до 90 дБА. Это подтверждает теоретические и эмпирические положения целого ряда исследователей о том, что увеличение частоты вращения двигателя приводит к увеличению его шумности.

Изучение амплитудно-частотных характеристик уровней звукового давления, снятых при испытании ГМ-520М в октавных полосах частот в кабине при движении с различными скоростями по бетонному покрытию, полученных при работающем отопителе, стеклоочистителе и вентиляции обдува стекол дало возможность определить полосы частот, в которых происходит превышение предельно допустимого уровня (ПДУ).

Испытания проведены при скоростях движения 20, 30, 40, 50, 60 км/ч. результаты испытаний в виде графиков представлены на рисунке 3 необходимо отметить, что в диапазоне

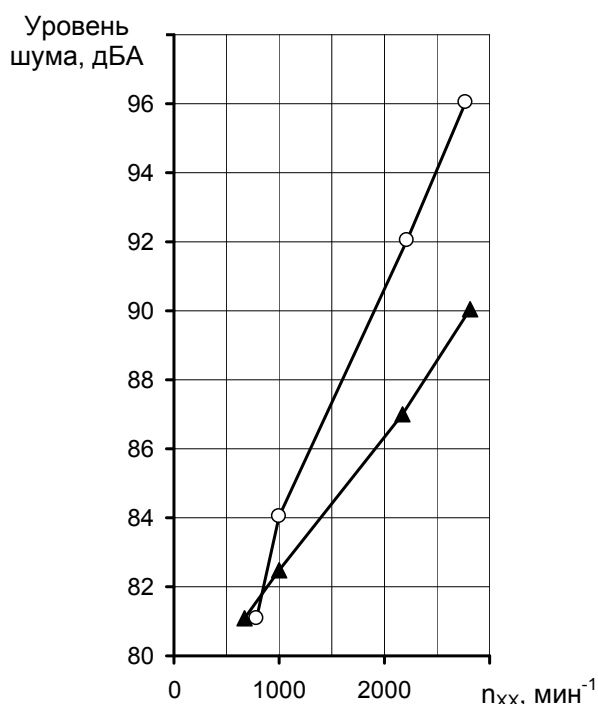


Рисунок 2 – Уровни звука в кабине ГМ-520 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала дизеля УТД-29 на холостом ходу: ○-дизель, отопитель, стеклоочиститель, вентилятор; ▲-дизель, выключены отопитель, стеклоочиститель, вентилятор

частот до 8000 Гц при увеличении скорости движения ГМ-520М происходит увеличение уровней звукового давления. Нарушений ПДУ не наблюдается при низкочастотных колебаниях до 31,5 Гц. Далее, начиная с 63 Гц ПДУ звукового давления превышаются на 7-17 дБА пропорционально росту скорости движения, а соответственно увеличению частоты вращения коленчатого вала дизеля и нагрузки. Превышение норм ПДУ наблюдается во всем диапазоне частот для скоростей движения выше 20 км/ч. для последней ПДУ превышает свыше частоты 31,5 Гц и до 4000 Гц. Наибольшие превышения норм ПДУ наблюдается для всех скоростей движения в полосах частот от 100 до 2000 Гц.

Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что с точки зрения экологии и охраны труда создаются опасные условия в зоне обитания экипажа и мероприятия, направленные на снижение уровней звукового давления следует проектировать с учетом опасного уровня звукового давления в диапазоне частот от 63 до 8000 Гц.

При продолжении исследований в этом направлении были оценены уровни звукового давления на рабочих местах

экипажа от работающего дизеля УТД-29 в движении со скоростью 35-40 км/ч и на стоянке при $n = 2600 \text{ мин}^{-1}$. Двигатель устанавливался на гусеничную машину ГМ-520, аналогичную по общей компоновке другим подобным.

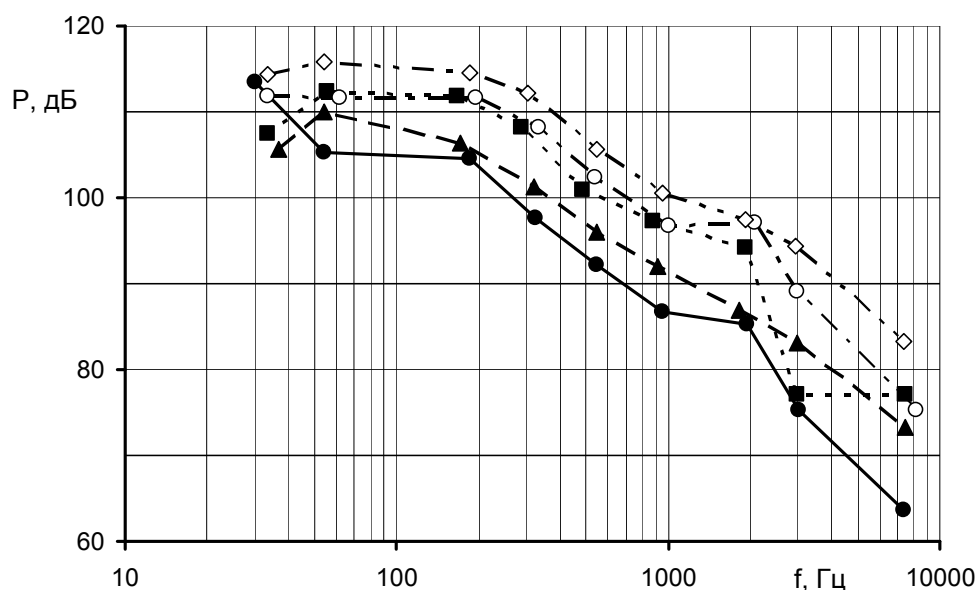


Рисунок 3 – Уровни звукового давления в кабине ГМ-520, Дизель УТД-29, в октавных полосах частот при движении с различными скоростями по бездорожью: ●-20 км/ч, ▲-30 км/ч, ○-40 км/ч, ■-50 км/ч, ◇-60 км/ч

На графиках рисунка 4 показаны уровни звукового давления на рабочих местах экипажа от работающего двигателя и движителей гусеничной машины в сравнении с ПДУ. Анализ

графиков показывает, что при испытании в условиях стоянки при $n_{xx} = 2600 \text{ мин}^{-1}$ превышение ПДУ звуковым давлением, создаваемым двигателем, начинается с частоты 63 Гц и продолжается до частоты 2000 Гц. Наибольшее превышение наблюдается при 200 Гц и составляет около 10 дБА. По существу это амплитудно-частотная характеристика звукового давления от дизеля.

При движении ГМ-520 по пересеченной местности со скоростью 35-40 км/ч уровни звукового давления значительно увеличиваются в диапазоне частот от 31,5 до 500 Гц. В диапазоне частот от 500 до 5000 Гц уровни звукового давления машины на стоянке и в движении отличаются на 3-5 Гц, причем для машины в движении они выше. Последнее говорит о том, что наиболее важно разрабатывать мероприятия по снижению уровня звукового давления в диапазоне частот до 1000 Гц (рисунок 4).

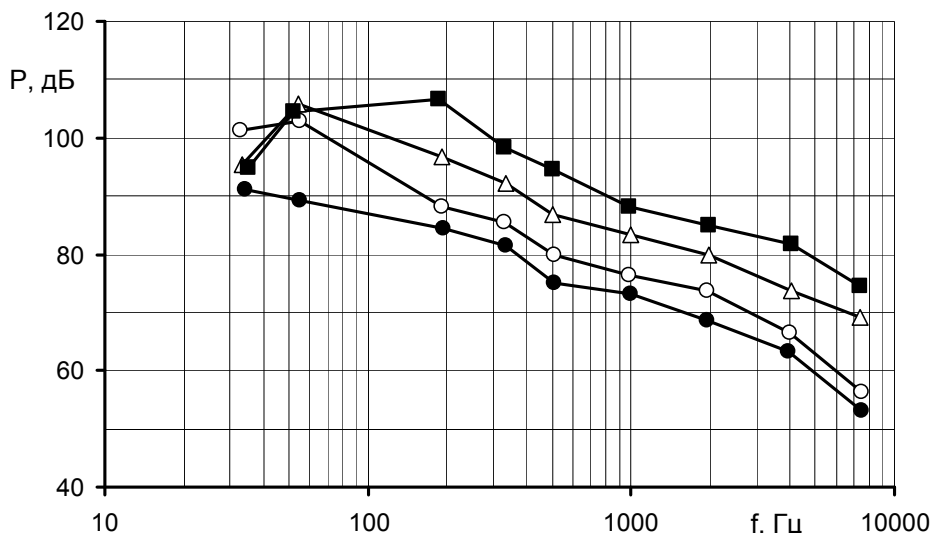


Рисунок 4 – Уровни звукового давления в кабине ГМ-520 от работающего дизеля УТД-29 на стоянке, при различных частотах вращения двигателя со штатным глушителем, включены отопитель, стеклоочистители, вентиляторы обдува: ●-700 мин⁻¹, ○-1000 мин⁻¹, △-2200 мин⁻¹; ■-2800 мин⁻¹

Уровни звукового давления в кузове ГМ-520М с дизелем были изучены в условиях стоянки при различных частотах вращения коленчатого вала на холостом ходу.

Необходимо отметить, что превышение ПДУ наблюдается для 2800 мин⁻¹ в диапазоне частот 63-5000 Гц. Для 2200 мин⁻¹ превышение ПДУ наблюдается в диапазоне частот 63-750 Гц. При остальных частотах вращения ПДУ звукового давления не превышает. Здесь может иметь место рекомендация о недопустимости выхода дизелей гусеничных машин с дизелем УТД-29 на конверсируемых машинах ГМ-520М на указанные частоты вращения холостого хода.

В результате исследований получены данные, необходимые при постановке задач снижения шумности гусеничных машин подлежащих конверсии [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Енукидзе, Б.М. Проблемы снижения шума и вибраций АТС / Б.М. Енукидзе, В.Е. Тольский // Автомобил. пром-сть. -1985. -№7. -С. 1-3.
 2 Теория и конструкция танков. Т.9. Динамические процессы в механических системах и агрегатах / под ред. П.П. Исакова. -М.: Машиностроение, 1988. -300 с.
 3 Снижение шумности и вибраций транспортных дизелей гусеничных машин / Е.М. Артеменко [и др.] // Вестн. АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -2001. -№3. -С. 106-111.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оценка, уровень, шум, гусеничная машина
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Новоселов Александр Леонидович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Салмин Алексей Николаевич, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Медведев Геннадий Валериевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Новоселов Александр Александрович, канд. техн. наук, инженер ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Печеникова Дарья Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

СНИЖЕНИЕ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ ВЫПУСКА ДИЗЕЛЕЙ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

А.Н. Салмин, А.А. Новоселов, А.Л. Новоселов, Г.В. Медведев

NOISE POWER DECREASE OF CATERPILLAR DIESELS

«Altai state technical university named I.I. Polzunova»

A.N. Salmin, A.A. Novoselov, A.L. Novoselov, G.V. Medvedev

The article is about the research results of noise power decrease of discharge systems of conversion caterpillar with different types of diesels by turns equipped with mufflers, catalytic neutralizes, neutralizers with active noise clipping.

Keywords: decrease, noise, discharge, diesel, muffler, neutralizer, active, clipping

Приведены результаты оценки звуковой мощности модификации гусеничной машины с четырьмя типами дизелей, проведенной в стендовых условиях. Испытания проведены со штатными глушителями. Показаны возможности снижения звуковой мощности путем применения нейтрализаторов с пористыми блоками и устройствами подавления шума.

Современная эпоха характеризуется не только масштабами развития всех видов транспорта, транспортной и малой энергетики, но и конверсией различных видов техники. При этом возникает целый ряд проблем, решение которых позволяет использовать конверсионную технику без угрозы для окружающей среды и обслуживающего персонала. К одной из важнейших относят проблему снижения шума транспортных дизелей. Уровни шума большинства транспортных дизелей на 7-12 дБА превышают установленные нормы, их удельная акустическая мощность, излучаемая поверхностями достигает 90-115 дБ/м² [1].

Таким образом, снижение звуковой мощности выпуска дизелей гусеничных машин остается актуальной задачей. Особенно это важно для гусеничных машин, подлежащих конверсии.

Оценка звуковой мощности суммарного шума выпуска транспортных дизелей производилась с использованием звукоизолированного бокса и выведенных за его пределы выхлопных труб. Это было необходимо, чтобы из общей звуковой мощности дизелей выделить звуковую мощность их выпуска. Сравнивались дизели, устанавливаемые на модификации машины, М-520.

Следует обратить внимание на то, что дизели УТД-29 и Д-20НР имеют объемное смесеобразование и форсированы по частоте вращения коленчатого вала, а дизели КамАЗ-740 и ЯМЗ-238 имеют объемно-плёночное смесеобразование и невысокие частоты вращения коленчатых валов.

Результаты проведенных исследований по определению зависимости уровня звуковой мощности суммарного шума выпуска выше названных дизелей от относительной нагрузки при $n_{ном}$ приведены на графиках рисунка 1. Из графиков видно явное преимущество дизелей с объемно-плёночным смесеобразованием перед дизелями с объемным смесеобразованием по уровням звуковой мощности по нагрузочным характеристикам.

Подобная картина получена при испытаниях дизелей по внешним скоростным характеристикам (рисунок 2).

Преимущества дизелей с объемно-плёночным смесеобразованием явно выражены.

Преимущества дизелей с объемно-плёночным смесеобразованием явно выражены.

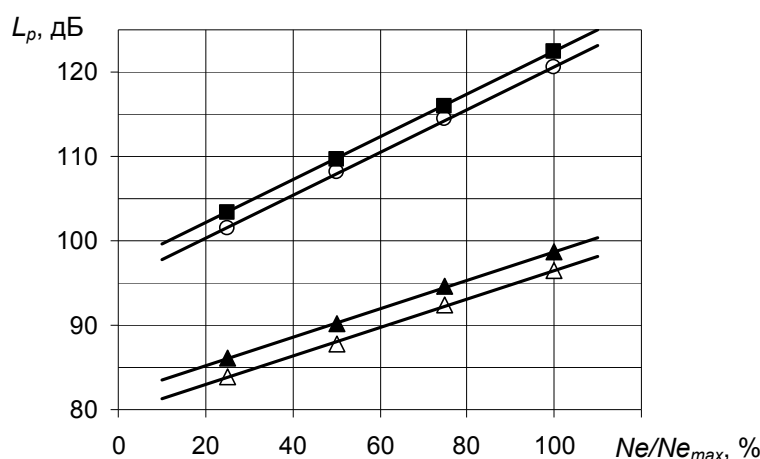


Рисунок 1 – Зависимость уровня звуковой мощности суммарного шума выпуска дизелей от относительной нагрузки по нагрузочной характеристике при $n_{ном}$: ■ – УТД-29, ○ – Д-20НР, ▲ – КамАЗ-740, △ – ЯМЗ-238НВ

Попытка установить зависимость уровня звуковой мощности от рабочего объема дизелей не увенчалась успехом. Такие зависимости могут существовать только среди семейств дизелей с одним типом смесеобразования. При этом делались попытки сравнения уровней звуковой мощности и при одинаковых относительных частотах вращения, одинаковых мощностях и так далее.

На рисунке 3 приведены графики зависимостей уровней звуковой мощности дизелей от их полного объема цилиндров (в литрах). Из графиков видно, что для дизелей с объемным смесеобразованием существует своя зависимость в отличие от дизелей с объемно-пленочным смесеобразованием. Поэтому при выборе дизелей для конверсируемых гусеничных машин необходимо исходить с учетом полученных зависимостей.

Таким образом, звуковая мощность одновременно зависит от типа смесеобразования, быстроходности, мощности и полного рабочего объема дизелей.

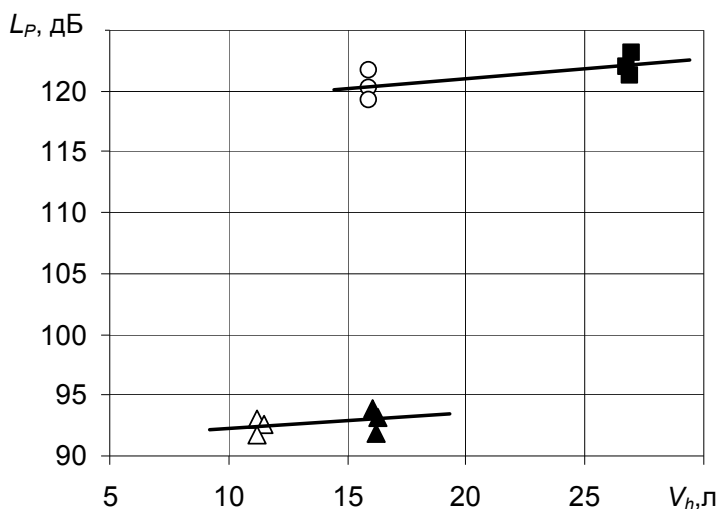


Рисунок 3 – Зависимость уровня звуковой мощности от полного рабочего объема дизелей (на режимах максимальной мощности): ■-УТД-29, ○-Д20НР, ▲-КамАЗ-740, △-ЯМЗ-238НВ

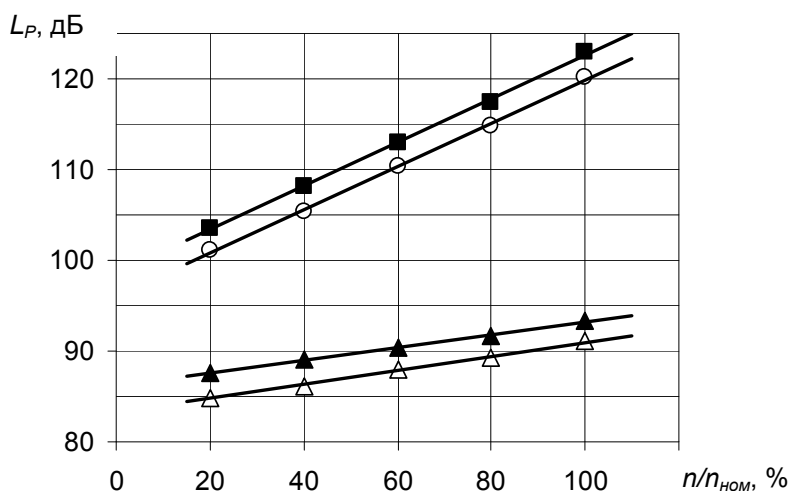


Рисунок 2 – Зависимость уровня звуковой мощности суммарного шума выпуска дизелей от частоты вращения коленчатого вала различных двигателей для гусеничных машин по внешней скоростной характеристике: ■-УТД-29, ○-Д20НР, ▲-КамАЗ-740, △-ЯМЗ-238НВ

Несмотря на некоторые успехи в разработке глушителей для дизелей, каталитических нейтрализаторов, в литературе нет упоминаний о конструкциях нейтрализаторов-глушителей [1]. Отдельный интерес представляют работы по подавлению шумов генераторами колебаний.

Решение одновременно задачи снижения вредных выбросов, подавления шума выпуска было найдено в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) предложенной конструкции, объединяющей решения по патенту Российской Федерации № 2267014 с добавлением активного элемента глушения [2].

Для достижение этого технического результата в кассетном каталитическом нейтрализаторе, изготовленном с применением СВС-фильтров из разработанного материала на основе оксида железа с добавлением формовочной глины, содержащем корпус с внешними и внутренними стенками, теплоизоляцией между ними, блоком фильтрации твердых частиц, с пористыми проницаемыми металлокерамическими каталитическими окислительным, восстановительным и окислительно-восстановительным блоками, поперечными перегородками со сквозными окнами, входным и выходным патрубками. Пористый блок фильтрации твердых частиц, пористые проницаемые металлокерамические каталитические окислительный, окислительно-восстановительный и восстановительный блоки установлены последовательно попарно в сквозные и введенные глухие окна поперечных перегородок с образованием кассет. Каждая последующая перегородка развернута относительно продольной оси нейтрализатора по сравнению с предыду-

щей перегородкой на угол, равный углу между осями сквозного и глухого окон. Каждый блок помещен в сквозном и глухом окнах перегородок своей кассеты.

Одна из секций на входе в нейтрализатор представляет сотый успокоитель колебаний и оснащена пьезодатчиком и генератором колебаний.

Нейтрализатор-глушитель (рисунок 4) состоит из корпуса 1 с внешними 2 и внутренними 3 стенками с теплоизоляцией 4 между ними, оборудован впускным 5 и выпускным 6 патрубками, торцевой крышкой 7, соединенной с фланцем 8 корпуса 1. Внутренняя полость нейтрализатора-глушителя, образованная внутренней стенкой 3, внутренними поверхностями торцевой крышки 7 и торцевой стенки 9 разделена поперечной перегородкой 10 на полость 11 глушения низкочастотных колебаний и полость реактора нейтрализатора.

В полость реактора с помощью распорных элементов 12 установлены кассеты 13, состоящие из дисков 14, фильтрующих и нейтрализующих блоков 15, шпилек 16. Между поперечной перегородкой 10, торцевой крышкой 7 и между кассетами 13 оборудованы полости 17, 18, 19 для расширения газов. Нейтрализатор оснащен датчиком давления 20.

Полость 11 соединена с внутренней полостью впускного патрубка 5 щелевыми отверстиями 20, образуемыми тарельчатыми элементами 22, а на выходе газов в полость 17 установлен завихритель 23. полость 11 оборудована пьезодатчиком 24 и генератором колебаний 25.

Предлагаемое выполнение кассетного каталитического нейтрализатора-глушителя относит его к классу многоступенчатых, так как в нейтрализаторе существует несколько ступеней очистки отработавших газов, к разряду комбинированных, так как в качестве ступеней очистки используются пористые проницаемые металлокерамические каталитические блоки и пористые блоки фильтрации твердых частиц из металлокерамики, секи глушения шума.

Каждая кассета содержит две ступени очистки и состоит из семнадцати фильтрующих элементов в виде стаканов. В кассетах одна половина блоков имеет сквозные окна со стороны подвода газов, а другая половина блоков имеет сквозные окна в сторону отвода газов, то есть пористый блок фильтрации твердых частиц помещен в сквозном и глухом окнах и пористый проницаемый металлокерамический каталитический окислительный блок помещен в глухом и сквозном окнах своей кассеты, пористый проницаемый металлокерамический каталитический окислительно-восстановительный блок помещен в сквозном и глухом окнах, пористый проницаемый металлокерамический каталитический восстановительный

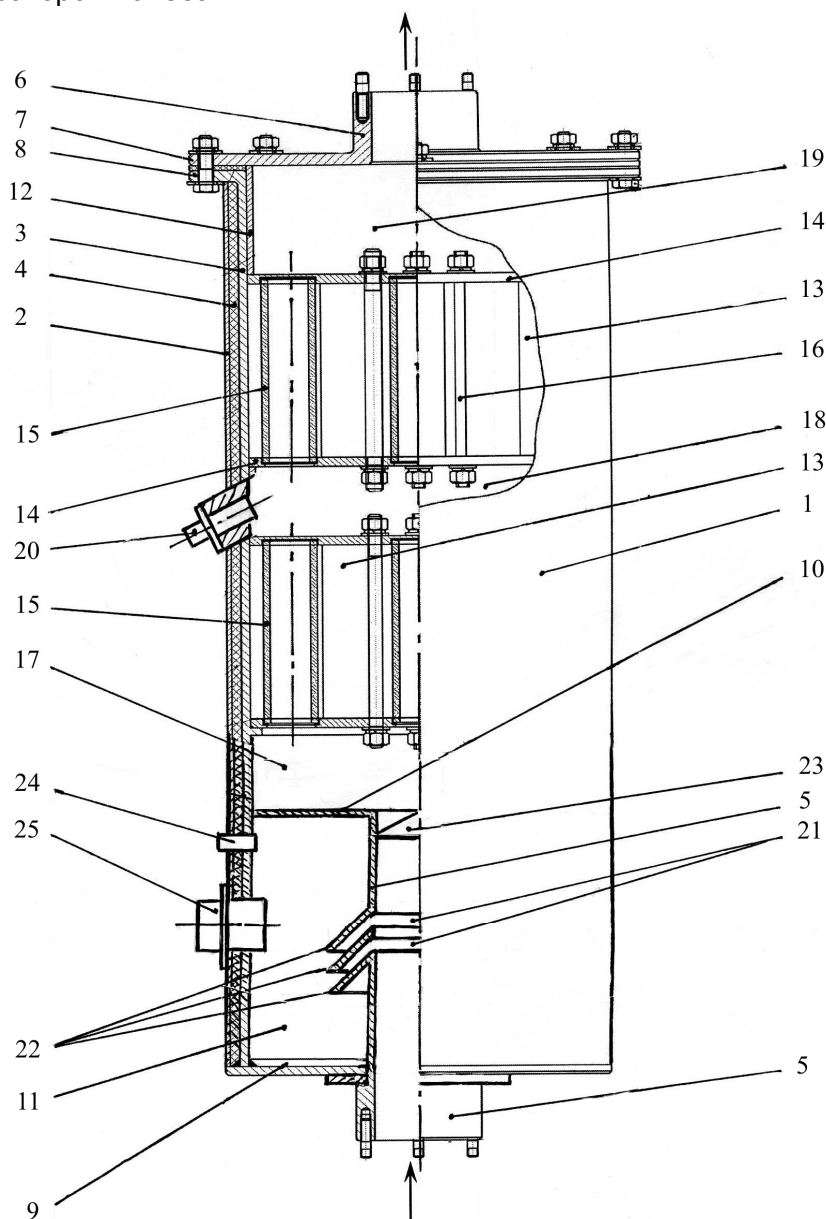


Рисунок 4 – Нейтрализатор-глушитель для дизеля

блок помещен в глухом и сквозном окнах своей кассеты.

Таблица 1 – Результаты оценки ущерба наносимого окружающей среде шумом выпуска

Дизель	Комплектации систем выпуска	Шум выпуска, дБА	Ущерб окружающей среде, тыс. руб./год
Д20НР-250 (6Ч15/15)	Без устройств снижения шума	120,7	181,3
	Глушитель БЗТМ	113,1	75,5
	Нейтрализатор-глушитель	111,7	56,0
	Нейтрализатор с активным элементом	86,9	43,56
УТД-29 (10Ч15/15)	Без устройств снижения шума	121,3	189,6
	Глушитель БЗТМ	112,8	71,6
	Нейтрализатор-глушитель	110,6	40,7
	Нейтрализатор с активным элементом	89,2	32,8
ЯМЗ-238 (8Ч13/14)	Без устройств снижения шума	97,0	171,5
	Глушитель КрАЗ	90,9	86,6
	Нейтрализатор-глушитель	88,7	56,0
	Нейтрализатор с активным элементом	86,4	54,5
КамАЗ-740 (8Ч12/12)	Без устройств снижения шума	99,2	182,2
	Глушитель КамАЗ	92,9	106,7
	Нейтрализатор-глушитель	91,76	91,31
	Нейтрализатор с активным элементом	87,3	86,8

Сравнивая данную конструкцию с другими аналогами каталитических нейтрализаторов на основе СВС-материалов, можно сказать, что обеспечивается более полная очистка отработавших газов, более высокая топливная экономичность дизеля за счет снижения противодавления на выпуске, более высокая долговечность каталитических блоков за счет снижения их массы и габаритных размеров, более высокая технологичность изготовления. Образование кассет из блоков позволило обеспечить каждой кассете по две ступени очистки, что способствует повышению качества очистки отработавших газов дизелей, эффективному снижению шума выпуска.

Используя разработанную ранее авторами методику оценки уровня ущерба, наносимого окружающей среде шумом выпуска дизелей, на основании экспериментальных исследований выполнены расчеты, результаты которых представлены в таблице 1.

Результаты расчетов показывают, что снижение условного ущерба, наносимого окружающей среде за счет установки глушителей составляет для дизелей: Д20НР – 105,8 тыс. руб./год; УТД-29 – 118 тыс. руб./год; ЯМЗ-238 – 84,9 тыс. руб./год; КамАЗ-740 – 75,5 тыс. руб./год.

Установка нейтрализаторов-глушителей конструкции АлтГТУ приводит к снижению условного ущерба, наносимого окружающей среде в тыс. руб./год для дизелей: Д20НР – 125,3; УТД-29 – 148,9; ЯМЗ-238 – 115,5; КамАЗ-740 – 90,89.

Установка разработанных при участии автора глушителей нейтрализаторов конструкции АлтГТУ приводит к снижению условного ущерба, наносимого окружающей среде в тыс. руб./год для дизелей: Д20НР – 137,7; УТД-29 – 156,8; ЯМЗ-238 – 117; КамАЗ-740 – 95,4.

Таким образом доказана эффективность применения для снижения шума выпуска транспортных дизелей как каталитически нейтрализаторов с пористыми проницаемыми СВС-блоками, так и нейтрализаторов с активными элементами глушения шума выпуска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Экологическая безопасность транспортных дизелей гусеничных машин / А.Л. Новоселов, Е.М. Артеменко, А.И. Прокопович, А.А. Мельберт // Вестн. АлтГТУ. -2001. -№3. -С. 79-82.
 2 Салмин, А.И. Снижение шума выпуска дизелей в каталитических нейтрализаторах с активными элементами глушения / А.И. Салмин // Повышение экологической безопасности автомобильной техники: сб. ст. / под. ред. А.Л. Новоселова; Рос. Акад. Трансп., АлтГТУ. -2009. -С. 121-130.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *снижение, звуковая, мощность, система, выпуск, дизель, гусеничная, машина*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Салмин Алексей Николаевич, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Новоселов Александр Александрович, канд. техн. наук, инженер ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Новоселов Александр Леонидович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
 Медведев Геннадий Валериевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

УРОВНИ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭКИПАЖИ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

А.А. Новоселов, А.Н. Салмин, А.А. Мельберт, Д.С. Печенникова

LEVELS OF SOUND PRESSURE ON THE CREW OF A CATERPILLAR
«Altai state technical university named I.I. Polzunova»

A.A. Novoselov, A.N. Salmin, A.A. Melbert, D.S. Pechennikova

Research results are given which show levels of the sound pressure of engines and propellers on the crew of caterpillars of the same type equipped with different diesels. An opportunity is shown to decrease the levels of the sound pressure on the crew due to the selection of diesels.

Keywords: level, sound, pressure, crew, caterpillar, machine

Приведены результаты исследования уровней звукового давления от двигателей и движителей на экипажи гусеничных машин одного класса, оснащенных различными дизелями. Показана возможность снижения уровней звукового давления на экипажи путем подбора дизелей.

Несмотря на то, что при использовании средств индивидуальной защиты шлемы типа ШШЛ или ШШЗ уровни звукового давления снижаются в полосе частот 100-8000 Гц на 20-40 дБ, при конверсии гусеничных машин следует приближать условия труда в них к условиям труда, имеющим место в автомобилях и тракторах [1].

Согласно правилу №51 ЕЭК ООН и требованиям стандартов России, ПДУ внешнего шума соответствует 83 дБА. Для сравнения требование стандарта 92/97/EWG (Германия) для двигателей мощностью свыше 150 кВт составляет 80+1 дБА, Швейцарии – 84+1 дБА [2].

Анализ уровня звукового давления от дизеля УТД-29 на рабочих местах экипажа (рисунок 1) показывает, что в диапазоне частот 31-2000 Гц наблюдаются превышения предельно-допустимых уровней как на стоянке, так и в движении.

Уровни звукового давления в зависимости от удаленности от моторного отсека, наличия перегородок и их герметичности изучались на гусеничной машине ГМ-520М с дизелем Д20НР-250. На рисунке 2 приведены амплитудно-частотные характеристики уровней звукового давления гусеничной машины в октавных полосах частот. Здесь номерами показаны точки измерений. Точка 5 находилась над крышей кабины экипажа. Измерения приведены при движении по снегу со скоростью 30 км/ч. При этом было отмечено, что на местах членов экипажа уровень звукового давления превышал ПДУ в полосах частот 63-1000 Гц на 8-17 дБА, а на местах пассажиров – на 10-12 дБА.

В работах В.Н. Луканина, И.В. Алексеева, В.Н. Гудцова, Н.Ф. Бочарова, посвященных изучению основных источников шума поршневых двигателей внутреннего сгорания, указывают на факт того, что акустическая мощность рабочего процесса на режиме максимального крутящего момента приблизительно составляет до 36% всей акустической мощности дизеля Ка-МАЗ-740 с объемно-плочным смесеобразованием, в то время как для дизеля ЗИЛ-645 с

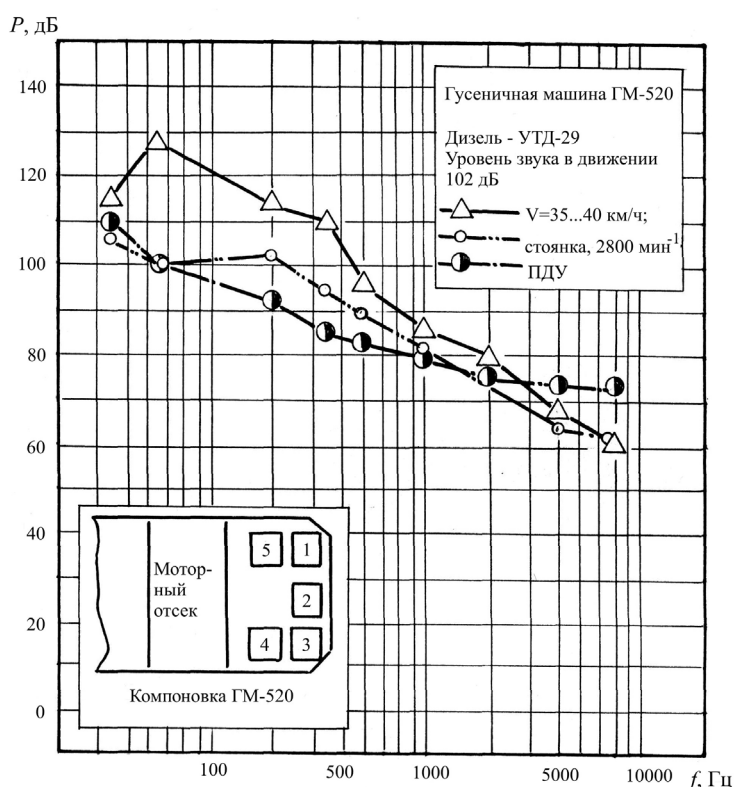


Рисунок 1 – Уровни звукового давления от работающего двигателя УТД-29 на рабочих местах экипажа ГМ-520 в движении со скоростью 35-40 км/ч и на стоянке при $n_{xx} = 2600 \text{ мин}^{-1}$

пристеночным смесеобразованием только около 8%.

Акустическая мощность рабочего процесса дизелей Д20НР-250 и УТД-29 по сравнению с мощностями упомянутых выше дизелей значительно выше, так как они имеют объемные процессы смесеобразования.

В связи с этим предпринята попытка осуществления замены дизелей с объемным смесеобразованием на дизели с объемно-пленочным смесеобразованием, широко используемых в конструкциях автомобилей и тракторов, имеющих лучшие показатели по уровням вредных выбросов с отработавшими газами и повышенный моторесурс в эксплуатации.

Снижение максимального давления в цилиндре, характерное при переходе от объемного к объемно-пленочному смесеобразованию, приводит к снижению шума от рабочего процесса в диапазоне частот 500-3000 Гц, снижение частот вращения коленчатого вала – к снижению механического шума на 9-12 дБА. Однако применение турбонаддува приводит к перераспределению уровней шума в область частот 2000-4000 Гц [3].

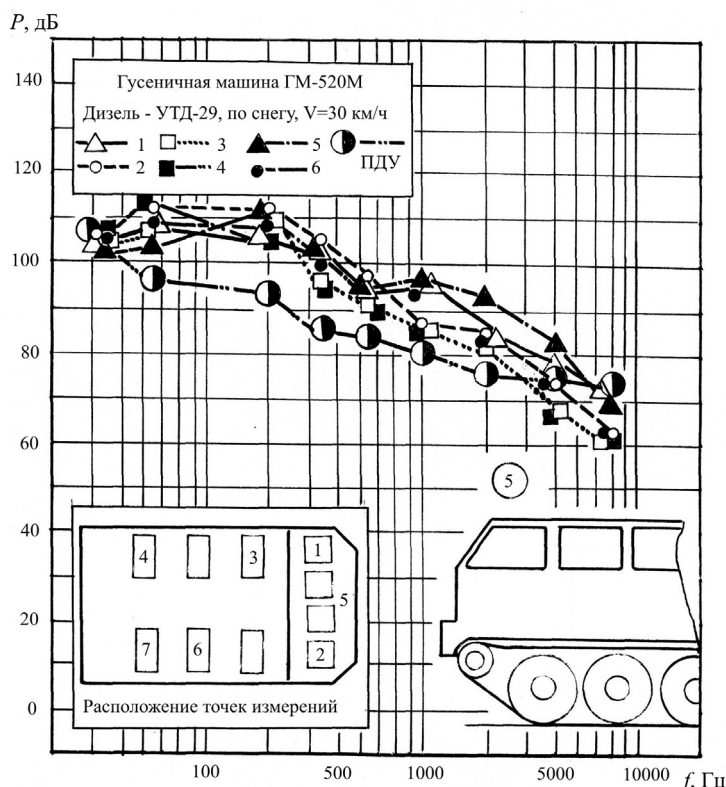


Рисунок 2 – Уровни звукового давления от работающей гусеничной машины ГМ-520М при движении со скоростью 30 км/ч по снегу

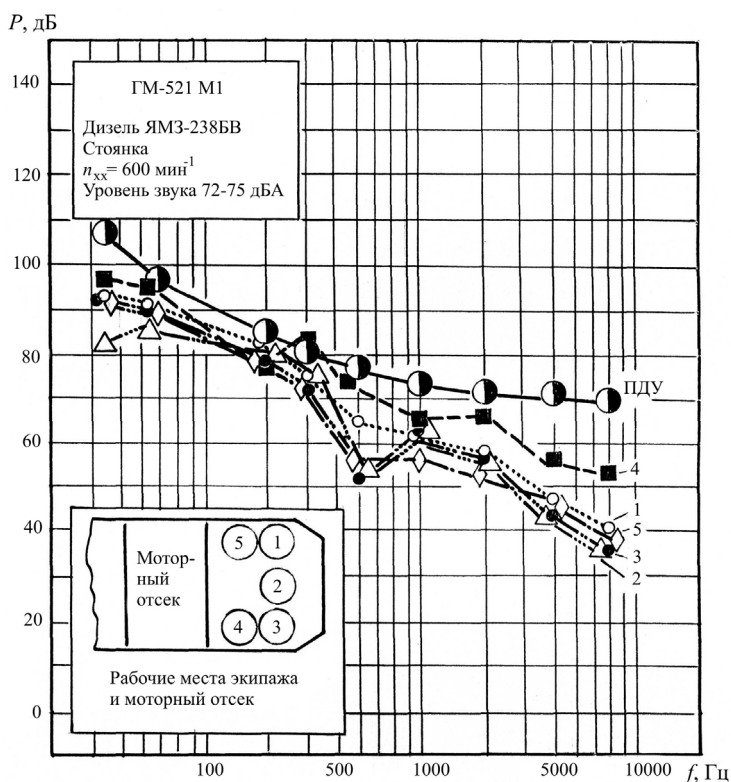


Рисунок 3 – Уровни звукового давления отработавшего дизеля на рабочих местах экипажа в октавных полосах частот

На гусеничной машине ГМ-521М1 был установлен дизель ЯМЗ-238БВ. Для выяснения влияния уровней звукового давления от работающего двигателя на членов экипажа были проведены сравнительные испытания, включающие испытания на стоянке при минимальной частоте холостого хода $n_{xx} = 600 \text{ мин}^{-1}$ и 1800 мин^{-1} , результаты которых в виде амплитудно-частотных характеристик приведены на рисунках 3 и 4. Обозначения на рисунках соответствуют номерам рабочих мест экипажа на схеме.

В результате исследования было обнаружено, что при работе на стоянке с частотой $n_{xx} = 600 \text{ мин}^{-1}$ уровни звука составили 72-75 дБА. Наибольшие уровни звукового давления обнаружены в полосах частот 250-8000 Гц на месте 4 по правому борту за моторным отсеком со стороны систем впуска и выпуска. Уровни звукового давления можно представить для всех рабочих мест как плавно снижающиеся в октавных по-

лосах частот от 90-98 дБ до 30-54 дБ с максимумом на местах 3, 2, 5 при 1000 Гц. Все значения уровней звукового давления в ГМ-521М1 с дизелем ЯМЗ-238БВ находятся ниже уровней ПДУ по ГОСТ 12.1.003-83 во всем рассматриваемом диапазоне октавных полос частот.

Увеличение частоты вращения коленчатого вала до $n_{xx} = 1800 \text{ мин}^{-1}$ привело к увеличению уровня звука до 84-86 дБ. Уровни звукового давления на рабочих местах экипажа от работающего дизеля гусеничной машины во всех октавных полосах частот 5000 Гц значительно увеличились. На рисунке 4 показано, что уровни звукового давления в октавных полосах частот до 250 Гц на 1, 5 местах, до 500 Гц на месте 3, до 2000 Гц на месте 4. Обращает на себя внимание превышение ПДУ на 4 месте у перегородки с моторным отсеком со стороны расположения систем впуска и выпуска. Эти данные можно использовать в дальнейшем при внесении изменений в системы впуска и глушения

шума вы-

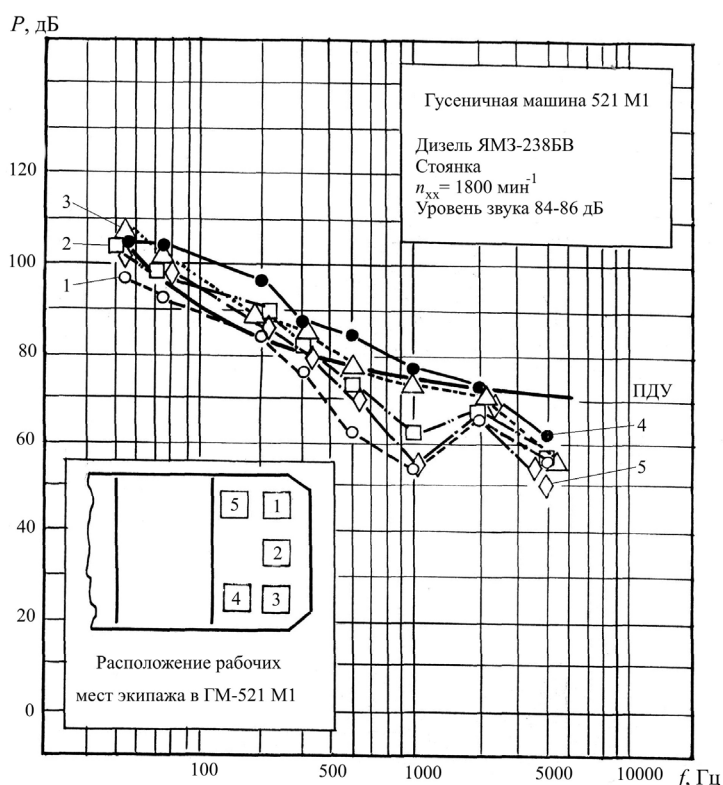


Рисунок 4 – Уровни звукового давления от работающего дизеля гусеничной машины в октавных полосах частот

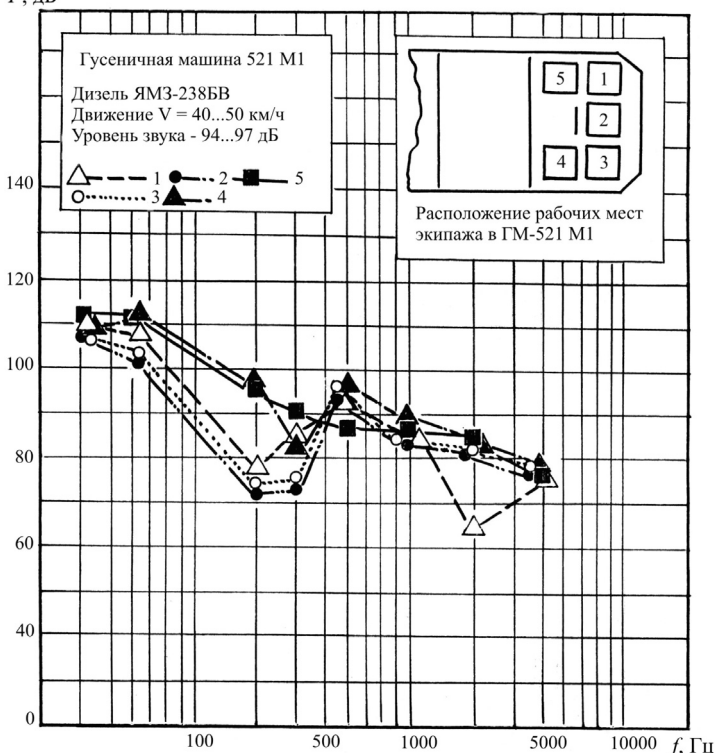


Рисунок 5 – Уровни звукового давления на рабочих местах экипажа при движении гусеничной машины со скоростью 40-50 км/ч по снегу

100-500 Гц наблюдается минимум звуковых давлений и их значения становятся ниже ПДУ. В условиях конверсии гусеничных машин на ГМ-501 с дизелем Д20НР-250 был установ-

пуска дизеля в случае положительного решения конвертируемая гусеничная машина может соответствовать стандартам на уровни звукового давления во всей амплитудно-частотной характеристике.

Зная о характере амплитудно-частотных характеристик уровней звукового давления от работающего двигателя на стоянке, в последующем для ГМ-521М1 с дизелем ЯМЗ-238БВ были определены уровни звукового давления на рабочих местах экипажа при движении со скоростью 40-50 км/ч по снежному покрытию. Уровень звука при этом составлял 94-97 дБ (рисунок 5).

Результаты исследования показали, что в диапазоне частот от 31,5 до 5000 Гц наблюдалось значительное превышение ПДУ на 10-13 дБ уровня звукового давления для мест экипажа для моторного отсека – 4 и 5, мест экипажа с правого борта – 4 и 3, с которых осуществляется впуск и выпуск транспортного дизеля. На местах 1, 2, 3 в диапазоне частот

лен дополнительный агрегат электропитания АЭП с двигателем Д-20НР, создающий дополнительные звуковые давления, оборудованный глушителем УД25М1 разработки ПЗДМ (г. Пермь). При испытаниях уровень шума в цехе составлял 60 дБА, в ГМ-501 – 52 дБА при неработающем АЭП.

На рисунке 6 приведены графики амплитудно-частотных характеристик уровней звукового давления двигателя АЭП с глушителем УД25М1 в условиях стоянки в цехе. Здесь рабочие места экипажа обозначены цифрами 1, 2, 3, а цифрами 4, 5, 6, 7 – рабочие места специального назначения, 8 – точка измерения на расстоянии 10 м от АЭП снаружи по правому борту со стороны систем впуска и выпуска двигателя.

Превышение допустимого уровня звукового давления с глушителем УД25М1 наблюдается для точек 1, 2 в диапазоне частот 1000-2000 Гц, для точек 3, 4, 5 – в диапазоне частот 63-3000 Гц, для точки 7 – в диапазоне частот от 63 до 8000 Гц.

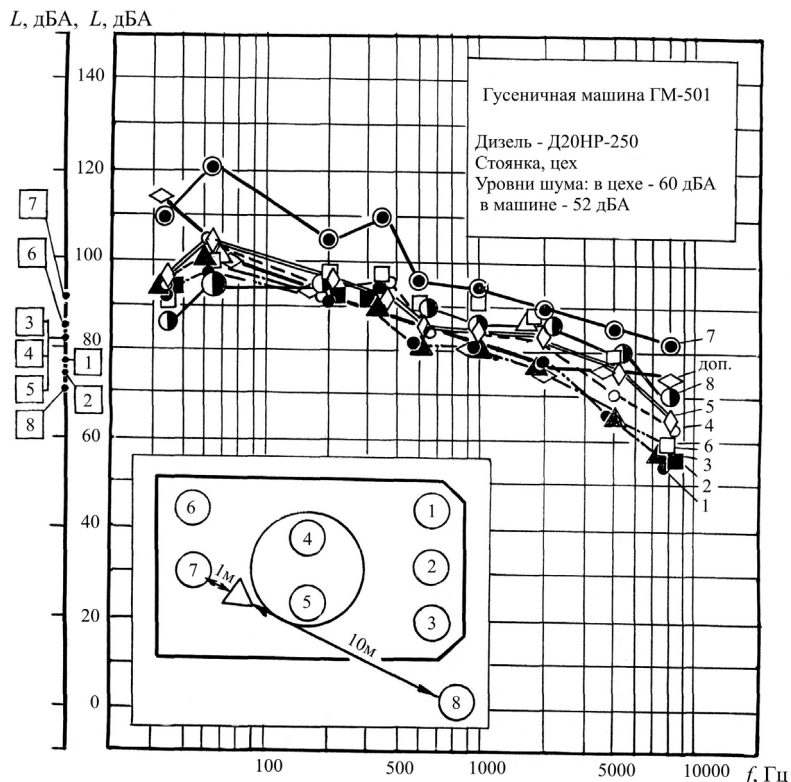


Рисунок 6 – Уровни звукового давления от работающего двигателя агрегата электропитания в октавных полосах частот с опытным глушителем

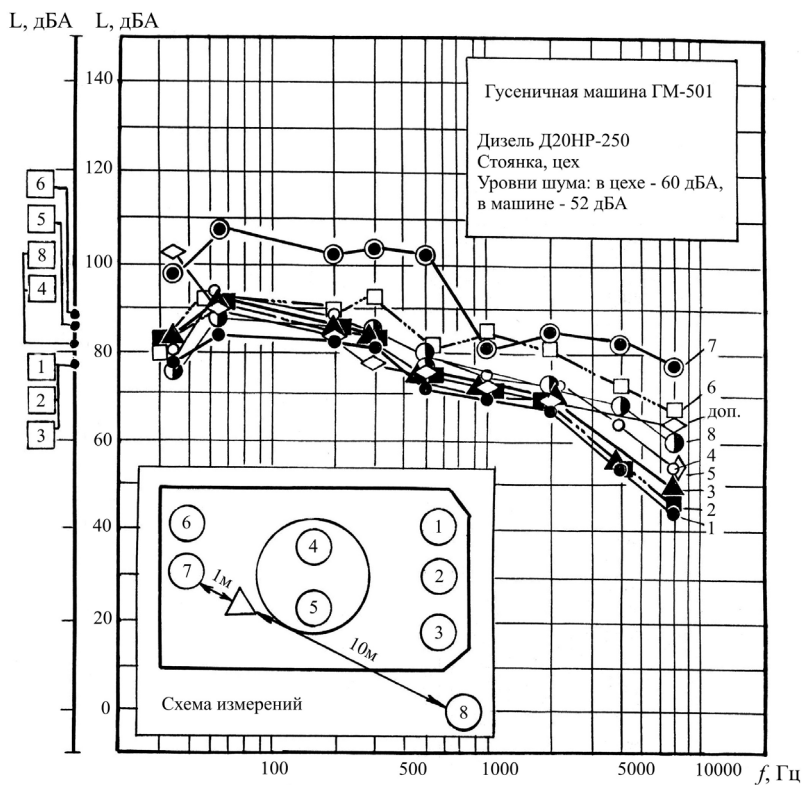


Рисунок 7 – Уровни звукового давления от работающего двигателя агрегата электропитания в октавных полосах частот со штатным глушителем

Здесь обращает на себя внимание шкала уровня шума для каждой из указанных точек, откуда видно, что значительное превышение норм уровня шума наблюдается в точках 2-7.

Подобные испытания были проведены при аналогичных условиях со штатным глушителем АЭП. Обнаружено, что в точке 8 вне гусеничной машины в диапазоне полос частот от 63 до 5000 Гц наблюдается превышение ПДУ звукового давления. В точке 1 превышение наблюдалось только в полосе частот 300 Гц. В диапазоне полос частот 63-5000 Гц наблюдалось превышение ПДУ на местах 5, 6, 7 от 63 до 400 Гц – на местах 1, 2, 3, 4.

Допустимый уровень шума оказался превышенным на всех местах, где производились измерения. Это видно из отметок положения точек на левой шкале графика рисунка 7.

В результате исследования

отмечено, что уровни шума на рабочих местах членов экипажа превышают ПДУ на 1-11 дБА. При работе с глушителем УД25М1 уровень акустических шумов на местах членов экипажа ГМ-501 снижается на 1-3 дБА, на расстоянии 1 м от глушителя – на 6 дБА, на расстоянии 10 м (см. схему) – на 7 дБА по сравнению со случаем использования штатных глушителей.

Таким образом, можно отметить, что подбором отдельных элементов двигателей и гусеничных машин в целом можно добиваться совершенствования отдельных экологических показателей конвертируемых гусеничных машин [3].

Полученные результаты легли в основу определения экономического ущерба, наносимого двигателями гусеничных машин окружающей среде и членам экипажа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Снижения шума в кабине двухзвенного гусеничного транспорта / В.А. Арефьев, Б.Н. Волков, А.Н. Герасимов, В.К. Микалуцкий // Вопр. оборонной техники. Сер.15. -1998. -Вып. 110. -С. 16-19.

2 Луканин, В.Н. Промышленно-транспортная экология / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко; под. ред. В.Н. Луканина. -М.: Высш. шк., 2001. -273 с.

3 Характеристика шумности транспортных дизелей гусеничных машин / А.А. Мельберт [и др.] // Вестн. АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -2001. -№3. -С. 88-93.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *уровень, звук, давление, экипаж, гусеничная, машина*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Новоселов Александр Александрович, канд. техн. наук, инженер ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

Салмин Алексей Николаевич, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

Мельберт Алла Александровна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

И.И. Ползунова»

Печенникова Дарья Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Турбинский, В.А. Хмелев

ECOLOGICAL AND HYGIENIC ASSESSMENT OF WATER CONSUMPTION CONDITIONS FOR ALTAI REGION POPULACE

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.V. Turbinsky, V.A. Khmelev

The interrelation quality of groundwater and surface water sources and morbidity of the population the Altai region, depending on the intensity of the water and radiation factor.

Keywords: border territory, transboundary water object, chemical and bacterial pollution, sanitary protection zone

Рассмотрена взаимосвязь качества воды подземных и поверхностных источников водоснабжения и заболеваемости населения Алтайского края, в зависимости от интенсивности действия водного и радиационного факторов.

В Алтайском крае около 2/3 населения для хозяйственно-питьевых целей используют воду подземных водоносных горизонтов.

Из 1660 населенных мест (2565,6 тыс. человек) хозяйственно-питьевые общепоселковые водопроводы имеются в 920 населенных пунктах, в том числе в 100% городов и районных центров и 60% сельских населенных пунктов с количеством населения более 2 тыс. человек.

Около 70% населения края обеспечено централизованным водоснабжением, около 30% населения – нецентрализованным: водой шахтных, трубчатых колодцев. Из 1421 водопровода края только три в Барнауле, Рубцовске, Камне-на-Оби в качестве источника водоснабжения используют поверхностные воды, остальные – подземные. У всех 3-х городских водопроводов с поверхностными водоисточниками имеются типовые сооружения по очистке и обеззараживанию питьевой воды.

Обеспеченность населения централизованным водоснабжением составляет в городах - от 90 до 98%, в районных центрах от 75 до 85%, в селах от 0 до 50%. Количество водопроводной воды на 1 человека в сутки в последние 5 лет неизменно и составляет: в городах от 250 до 350 л; в районных центрах от 180 до 200 л; в сельских населенных пунктах от 20 до 100 л.

По гидрогеологической классификации в Алтайском крае распространен Кулундинско-Барнаульский артезианский бассейн ограниченный между горными образованиями Салаира, Алтая и Колывань-Томской складчатой зоной. Долина реки Оби делит бассейн на две части: Обь-Чумышскую возвышенность и Приобское плато. С запада расположена Кулундинская низменность.

Кулундинско-Барнаульский артезианский бассейн состоит из водоносных горизонтов, водоносных комплексов и подземных вод спорадического распространения. Отмечается, что на территории Кулундинской равнины имеются преимущественно только грунтовые воды на глубине только до 5 м с минерализацией до 1 г/дм³ и водоносный горизонт средне четвертичных отложений на глубине 5-32 м с минерализацией до 1 г/дм³. На Приобском плато и на Обь-Чумышской возвышенности имеются подземные воды во всех трёх отделах четвертичных отложений. Однако, качество этих вод имеет более широкий диапазон минерализации, нередко превышающий гигиенический норматив.

Глубокие воды неогеновых отложений отличаются пёстрым чередованием маломинерализованных и высокоминерализованных вод. Всё это свидетельствует о наличии в одном и том же районе Алтайского края подземных вод с различной минерализацией. В большинстве населенных пунктов Алтайского края (кроме г. Барнаул, Камень-на-Оби, Рубцовск) для хозяйственно-питьевого водоснабжения используются воды четвертичных отложений и неогеновой гидрогеологической систем.

В результате гигиенического районирования Алтайского края по качеству питьевой воды выделяются районы – благоприятные, где качество питьевой воды соответствует оптимальным гигиеническим нормам; условно благоприятные, где качество питьевой воды соответствует допустимым гигиеническим нормам; и не благоприятные, где качество питьевой воды не соответствует гигиеническим нормам (таблица 1).

Таблица 1 – Гигиеническая классификация качества подземных вод, источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения

Класс качества подземных вод	Показатели качества воды		
	сухой остаток, г/дм ³	жесткость общая, мг-экв/дм ³	металлы, ПДК*
I Благоприятный	до 1,0	до 7,0	менее 1
II Условно благоприятный	1,0-1,5	7,0-10,0	до 5 (орг.)**
III Не благоприятный	более 1,5	более 10,0	более 1 (токс.)***

*-ПДК-предельно-допустимая концентрация для всех веществ; **-(орг.)-предельно допустимая концентрация для веществ с органолептическим лимитирующим признаком вредности; ***-(токс.)-допустимая концентрация для веществ с токсикологическим лимитирующим признаком вредности

На территории Алтайского края наименьший выбор подземных водоисточников благоприятных в гигиеническом отношении по качеству воды имеется в пределах Кулундинской равнины и восточной части Приобского плато. На этих территориях для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения используются подземные воды не отвечающие гигиеническим нормативам по уровню минерализации, жесткости и содержанию отдельных металлов, в частности железа и марганца.

По уровню минерализации и общей жесткости воды благоприятной территории для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения является предгорный алтайский пояс, который простирается от Змеиногорска по долине р. Чарыш, верхней Оби в направлении Салаирского кряжа. В западной части Кулундинской равнины от пос. Михайловский в направлении города Славгорода, пос. Бурла и Хабары подземные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, имеют повышенную общую жесткость.

За последние 36 лет за счет ввода в эксплуатацию новых водоносных горизонтов достигнута положительная динамика снижения жесткости питьевой воды. Другим важным гигиеническим критерием качества питьевой воды является показатель её сухого остатка, величина которого зависит от присутствия минеральных солей.

В Алтайском крае имеются три территории, характеризующиеся как неблагоприятные по величине сухого остатка в питьевой воде. Одна из них, наиболее обширная, расположена в пределах Кулундинской равнины – пос. Завьялово, Благовещенка, Баево, Панкрушиха, Крутиха. Другая – пос. Тальменка. третья – Локтевский район. В этих населенных пунктах величина сухого остатка в питьевой воде превышает допустимый гигиенический норматив –

1,5 г/дм³.

К районам условно-благоприятным по содержанию сухого остатка в питьевой воде относятся населённые пункты в Кулундинской низменности – Волчиха, Михайловский, Ключи, Кулунда, Родино. В пределах приобского плато – Романово, Мамонтово, Ребриха, Топчиха, Усть-Чарышская пристань. В предгорном районе – пос. Советское.

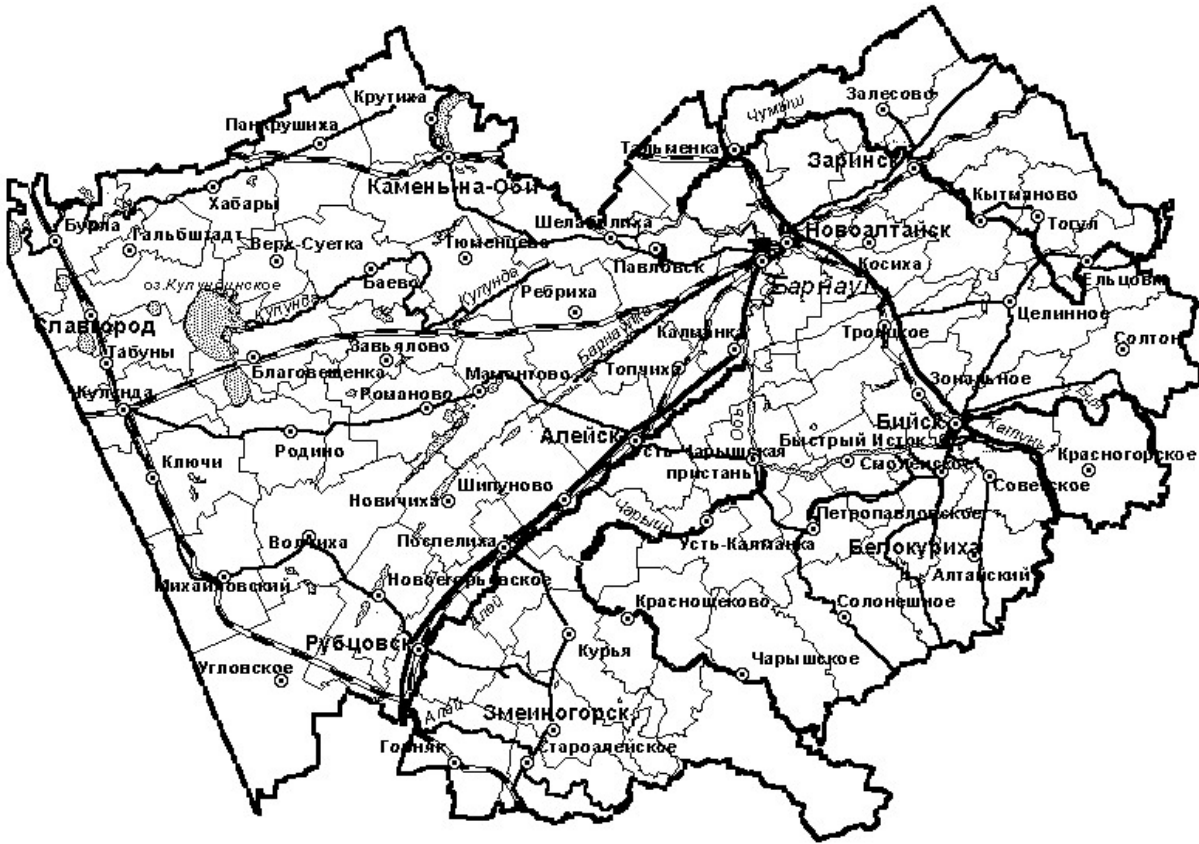


Рисунок 1 – Административно-территориальная карта Алтайского края

На остальной территории Алтайского края качество питьевой воды соответствует категории – благоприятная по гигиеническим критериям солевого состава. На этой территории лишь в 5% населенных пунктов минерализация питьевой воды периодически превышает 1,0 г/дм³, но не превышает 1,5 г/дм³.

В районах с неблагоприятной питьевой водой в 1970-1979 гг. удельный вес населенных пунктов имеющих хозяйственно-питьевое водоснабжение из источников с концентрацией сухого остатка более 1500 мг/дм³ составлял 30%. В 1980-1989 гг – около 21% в настоящее время – 10%.

Превышения гигиенических нормативов содержания минеральных солей отмечаются за счет сульфатов и хлоридов. В Крутихе, Баево, Благовещенке, Пospelихе и Локте в 1970-1979 гг. концентрация сульфатов в питьевой воде достигала 600-838 мг/дм³. К 1992 году за счет замены водоисточников концентрация сульфатов в питьевой в Крутихе, Баево и Благовещенке удалось довести до требований гигиенических нормативов.

На территории городов Горняк, Рубцовск, Алейск выделяется территория пос.Локоть, где качество питьевой неблагоприятно по содержанию общей жесткости, содержанию сухого остатка. Из остальных населенных пунктов этой территории можно выделить Пospelиху, Шипуново, Кр. Дубраву, Боровское, Савино, Троицкое, Платаву в которых жесткость питьевой воды превышает 10 мг-экв/дм³. При этом, величина сухого остатка в питьевой воде превышает 1500 мг/дм³ в Пospelихе, Шипуново. Боровском, Локоть.

Анализ динамики сухого остатка питьевой воды и жесткости за период с 1979 по 2008 год на примере города Горняк показал, что оба эти показателя не претерпели существенных изменений. Если для населения большинства других районов Алтайского края за последние 30 лет условия централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения улучшились за счет использования более благоприятных водоносных горизонтов и введение в действие групповых водопроводов, то для населения районов – Локтевский, Рубцов-

ский, Поспелихинский водоснабжение из подземных водоисточников остается практически неизменным.

Кроме повышенного содержания минеральных солей в подземных водах Алтайского края на отдельных территориях встречаются подземные воды с повышенным содержанием свинца (районы Кулундинской низменности – Кючи, Славгород, и Приобского плато – Романово, Новичиха, Ребриха). В Завьялово в подземных водоисточниках обнаружены концентрации мышьяка превышающие ПДК в 6 раз.

Повышенный уровень минерализации питьевой воды является фактором формирования хронического стресса у населения [1]. Установлено, что избыток минеральных солей приводит к формированию в организме стереотипных неспецифических и специфических реакций являющихся факторами риска развития сердечнососудистой патологии и заболеваний мочеполовых органов [2, 3].

Повышенная минерализация питьевой воды вызывает нарушения состояния плацентарной ткани, её конечных ворсин обеспечивающих обменные процессы между организмом матери и плода [4]. Данные литературы [5] также указывают на то, что заболеваемость населения болезнями нервной системы, перинатальная смертность и различные виды злокачественных новообразований имеют положительную корреляцию с высокой жесткостью питьевой воды.

Согласно данным [6] территория Алтайского края подверглась воздействию выпадению радиоактивных элементов в результате ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне. В зону воздействия следа радиоактивных выпадений попало 15 районов. Из этих районов преимущественно уровень суммарного облучения составил до 7 бэр, а жители Поспелихинского, Шипуновского, Угловского, Рубцовского районов были облучены в дозах превышающих 7 бэр.

Таким образом, на основании гигиенической характеристики условий хозяйственно-питьевого водоснабжения и сведений о величинах доз суммарного облучения в результате ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне нами составлена матрица распределения районов края по характеру и интенсивности влияния факторов среды обитания на здоровье населения (таблица 2).

Таблица 2 – Распределение районов Алтайского края по классу благоприятности питьевой воды и уровню облучения в результате ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне

Дозы облучения	Класс территории по качеству питьевой воды		
	благоприятный	условно-благоприятный	неблагоприятный
Отсутствуют	Целинный, Шебалихинский, Бийский, Петропавловский, Солонешенский, Краснощековский, Чарышский, Зональный, Павловский, Смоленский	Кулундинский, Ключевский, Ребрихинский, Славгородский, Заринский, Красногорский, Михайловский, Советский, Алтайский, Бурлинский, Табунский	Романовский, Ельцовский, Гогульский, Новочихинский, Тюменцевский, Тальменский, Мамонтовский, Завьяловский, Солтонский, Баевский, Волчихинский, Каменский, Благовещенский
1-7 бэр	Курьинский, Усть-Калманский, Первомайский, Троицкий, Косихинский, Змеиногорский	Новогорьевский, Алейский, Топчихинский, Усть-Пристанский	Локтевский
Более 7 бэр		Угловский, Рубцовский	Поспелихинский, Шипуновский

В соответствии с установленными градациями водного и радиационного факторов на территории края районы распределяются по 8-ми. Районы Поспелихинский и Шипуновский – неблагоприятные по качеству питьевой воды и повышенный по сравнению с другими уровнями облучения населения. Также повышенные дозы облучения характерны для жителей Угловского и Рубцовского районов. Но по величине водного фактора данная группа районов является условно-благоприятной. Неблагоприятных районов по водному фактору, население которых подверглось облучению в дозах 1-7 бэр представлены одним Локтевским районом. Остальные районы края не подверженные облучению распределились в группах с различным уровнем водного фактора.

Выявлено, что наиболее выраженные неблагоприятные последствия комплексного дей-

ствия водного и радиационного факторов проявляются в районах с неудовлетворительным качеством питьевой воды. Эти последствия характеризуются не только отклонениями в функциональных систем организма детей, но и нарушением репродуктивной функции женщин, увеличением риска онкологических заболеваний.

Состояние здоровья взрослого населения также зависит от характера водно-санитарной обстановки и интенсивности воздействия радиационного фактора. Эта зависимость выражается, прежде всего, в том, что на фоне радиоактивного облучения действие водного фактора проявляется в более выраженной форме. В большей мере возрастает общая заболеваемость, чаще отмечаются расстройства системы дыхания (в 1,14 раза), более высокая заболеваемость новообразованиями (в 1,35-1,57 раза), болезнями органов пищеварения (3,3 раза), крови и кроветворных тканей (в 2,7 раза), врожденными аномалиями развития (в 9,4 раза).

Таким образом, анализ заболеваемости населения Алтайского края в зависимости от интенсивности действия водного и радиационного факторов показал, что при отсутствии радиационного облучения действие водного фактора выражается в повышении заболеваемости взрослого и детского населения врожденными аномалиями развития, а также среди взрослого населения болезнями органов пищеварения, мочеполовой и эндокринной систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Морфофункциональные исследования в гигиене / Т.И. Боношевская [и др.]. -М.: Медицина, 1984. -158 с.
- 2 Медико-биологические исследования в гигиене / Р.В. Меркурьева [и др.]. -М.: Медицина, 1986. -289 с.
- 3 Amuris R. et al Hardness of drinking water and public health: Scientific colloquium (Luxembourg, 1975). -Oxford: Pergamon Press, 1975.
- 4 Quidlines for Canadian drinking water Quali / Ministry of supply and Services (supporting documentation). -1979.
- 5 Fedrick, J. Anencephalus and the local water supply / J. Fedrick // Natur. -1970. -Vol.227. -P. 177.
- 6 Радиационное воздействие ядерных испытаний, проведенных Семипалатинским полигоном на здоровье населения Алтайского края: отчет по 3 этапу / Войсковая часть 52605; отв. исп. Н.Ф. Терехов. -Семипалатинск, 1992.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водный объект, химическое и радиационное загрязнение, экология водопользования, здоровье населения, эколого-гигиеническое районирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Турбинский Виктор Владиславович, канд. мед. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Хмелев Вячеслав Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»

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

ВЫБОР И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРАЛИЗАТОРА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ДЛЯ ДИЗЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА РЕЖИМАХ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ С СИСТЕМОЙ ТОПЛИВОПОДАЧИ CR

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

С.П. Кулманакон, Г.Д. Матиевский, В.А. Синицын

SELECTION AND STUDY OF CATALYTIC CONVERTER EXHAUST GAS PURIFICATION EFFICIENCY FOR A DIESEL ENGINE OPERATING AT CONSTANT POWER MODE WITH THE SYSTEM OF FUEL-CR

«Altai state technical university named I.I. Polzunova»
S.P. Kulmanakov, G.D. Matievskiy, V.A. Siniatsyn

This article aims to select the basic design and test catalytic converter exhaust designed for use on a constant power modes of diesel fuel injection system such as CR.

Keywords: catalytic converter; constant power mode, fuel system

Представлен выбор базовой конструкции и приведены результаты испытаний нейтрализатора отработавших газов, предназначенного для использования на режимах постоянной мощности дизеля с системой топливоподачи типа CR.

На кафедре ДВС Алтайского технического университета выполнен ряд исследований [1-4], устанавливающих особенности работы опытного одноцилиндрового дизеля размерностью 130/140 ОАО ПО «Алтайский моторный завод» с топливной аппаратурой типа «Common Rail» отечественных производителей на режимах характеристики постоянной мощности (ХПМ).

Исследования подтвердили высокую эффективность системы CR как средства снижения содержания сажи и продуктов неполного сгорания топлива (в два и более раза) в отра-

ботавших газах (ОГ) при снижении расхода топлива до 5-7%. Одновременно почти в два раза возрастает содержание окислов азота. Поэтому использование системы CR можно рекомендовать в совокупности с мероприятиями, обеспечивающими снижение содержания NO_x в ОГ.

Оптимизацией давления и угла опережения впрыска топлива в интервалах их изменения, соответствующих слабому отклику расхода топлива и продуктов неполного сгорания на режимах ХПМ, определяемым изменением частоты $n = 1250-1750$ мин⁻¹, индикаторного давления $P_i = 1,24-1,0$ МПа и получением запаса крутящего момента 1,4, позволили заметно снизить содержание NO_x в ОГ. Однако довести уровень содержания NO_x до значений штатной топливной аппаратуры непосредственного действия не удастся. Он остается выше на 25-30%.

В статье ставится цель выбора базовой конструкции и испытания нейтрализатора ОГ, предназначенного для использования на режимах постоянной мощности дизеля с системой топливоподачи типа CR и обеспечивающего эффективность очистки ОГ не менее 35-40% по выходу окислов азота.

За базовый принимается нейтрализатор ОГ, заложенные в котором принципы очистки и конструктивные решения по их реализации позволяют достичь необходимой эффективности очистки ОГ и будут использованы в нейтрализаторах, создаваемых под конкретные семейства двигателей.

Поставленная цель достигалась решением ряда конкретных задач. Основные из них: выбор схемы дизель – нейтрализатор ОГ и конкретной базовой конструкции нейтрализатора, проведение экспериментальных исследований базовой конструкции по определению уровня очистки (коэффициента очистки) и выявлению условий (главным образом по температуре катализатора) наиболее эффективной очистки ОГ.

Из большого числа схем, используемых для обезвреживания отработавших газов при помощи специальных устройств [5] предпочтение было отдано схеме дизель – каталитический нейтрализатор, благодаря преимуществам, связанным с высокой температурой отработавших газов на режимах ХПМ и низким содержанием сажи и продуктов неполного сгорания топлива, обеспечиваемым использованием системы топливоподачи типа CR.

В исследованиях за базовую была принята конструкция каталитического нейтрализатора с неподвижной набивкой (неподвижным слоем катализатора на основе платины), разработанного Институтом Катализа СО РАН (г. Новосибирск) и отличающегося простотой в исполнении и обслуживании в эксплуатации. Основные особенности конструкции нейтрализатора таковы.

Корпус нейтрализатора изготовлен из нержавеющей стали в виде цилиндра со съемной крышкой. Внутренняя часть корпуса нейтрализатора разделена перегородками на несколько секций для установки блоков носителя катализатора. Блок представляет собой специальную ткань в виде ленты, с нанесенным на ее поверхность катализатором, и гофрированную металлическую ленту, свернутые в виде спирали до необходимого диаметра. Нейтрализатор двухстадийный, может быть одно- и двублочным (для нейтрализации окислов азота и углеводородов или окислов азота, углеводородов и окиси углерода соответственно).

Для предотвращения загрязнения блоков нейтрализатора сажей непосредственно на входе в нейтрализатор устанавливается сажевый фильтр. Сажевый фильтр изготавливается из алюмосиликатной ваты, выдерживающей температуру до 650-700 °С.

Для проведения исследований в конструкции нейтрализатора на входе и выходе из него предусмотрены места установки термодатчиков (хромель-алюмель) для измерения значений рабочей температуры катализатора, зонды для измерения давления и обеспечения контроля гидравлического сопротивления снаряженного нейтрализатора, которое не должно превышать 900 мм вод. ст., а также патрубки отбора проб ОГ для анализа их токсичных составляющих. Предусмотрена возможность изменения скорости потока ОГ через нейтрализатор съемными шайбами фиксированного диаметра на входе и выходе из блоков.

Нейтрализатор устанавливался в выпускную систему дизеля ВАЗ-341 (вместо глушителя), смонтированного на электротормозном стенде, оборудованном всеми необходимыми приборами для определения нагрузки, расходов топлива и воздуха, анализа отработавших газов на входе и выходе нейтрализатора. Последний осуществлялся с помощью газоанализатора Quintox K 9300.

В данных исследованиях, ставящих главной целью определение эффективности ней-

трализатора и условия ее достижения по температуре блока катализатора использование дизеля ВАЗ-341 по существу как генератора ОГ и укомплектование его не системой топливopодачи типа CR, а непосредственного действия с топливным насосом распределительного типа и штифтовыми форсунками ЦНИТА не являлось решающим. Вместе с тем достижение заданной эффективности очистки ОГ по окислам азота дизеля ВАЗ-341 с вихрекамерным смесеобразованием, характеризуемого низким уровнем содержания NO_x (как впрочем и других токсичных компонентов), дает основание предполагать заведомое достижение заданного эффекта в дизеле с непосредственным впрыском в камеру в поршне топливной системой CR, имеющего существенно большее содержание NO_x в ОГ.

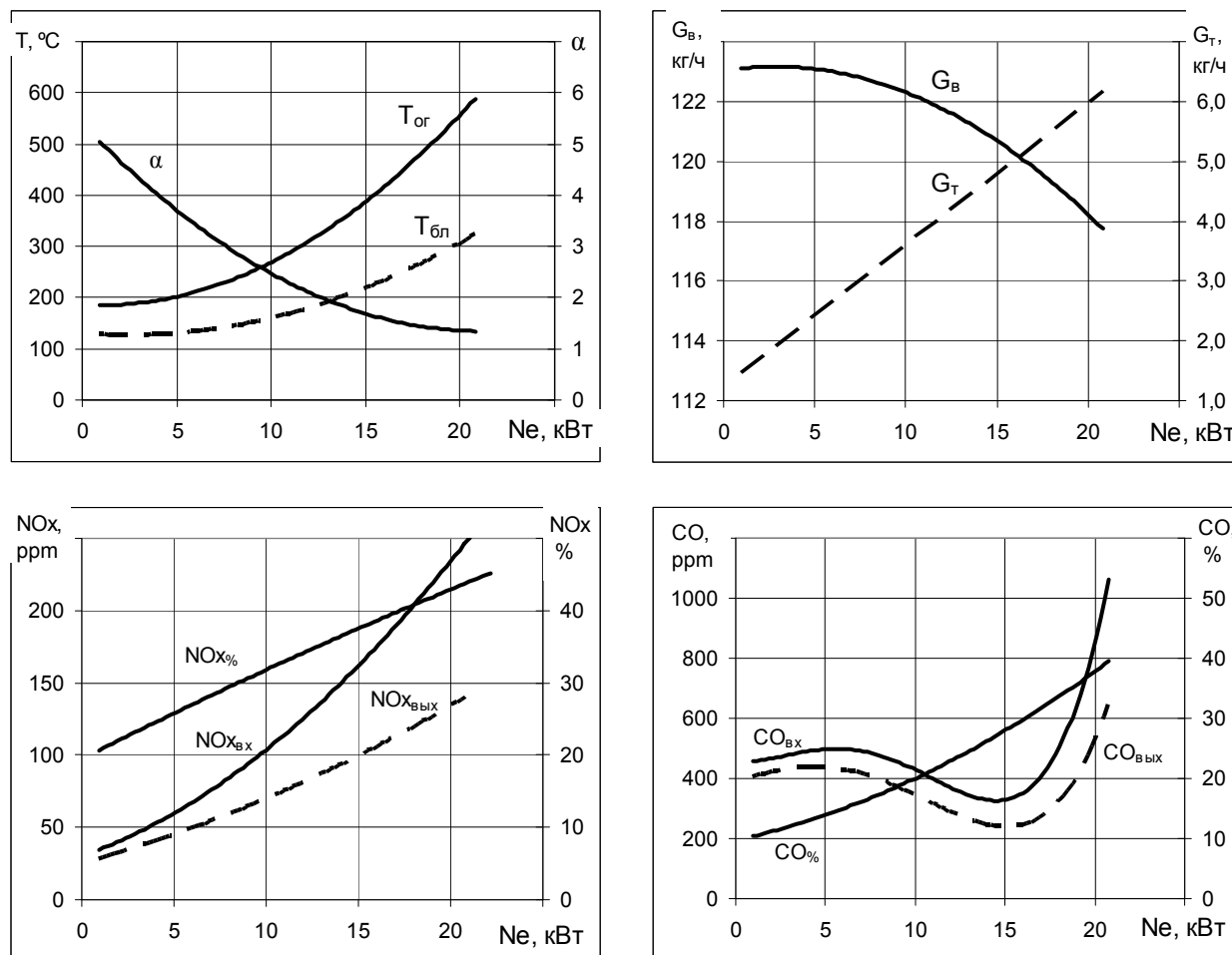


Рисунок 1 – Нагрузочная характеристика ВАЗ-341 ($n = 2500 \text{ мин}^{-1}$)

Эффективность работы нейтрализатора определялась по коэффициентам очистки токсичного компонента по отношению его содержания в ОГ до и после нейтрализатора. Параллельно измерениям токсичных компонентов фиксировались значения температур катализаторного блока t_{bl} и отработавших газов t_{or} , а также параметров, характеризующих загрузку двигателя по эффективной мощности N_e , расходов топлива и воздуха (G_m и G_a).

За оптимальную температуру катализаторного блока принималась температура, при которой достигался максимальный коэффициент очистки.

Испытания нейтрализатора проводились на режимах: прогрева двигателя, холостого хода, нагрузочных характеристик при $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$ и 4000 мин^{-1} и внешней скоростной характеристики.

Результаты обработки материалов исследований свидетельствуют о снижении всех трех токсичных составляющих (CO , NO_x , C_xH_y) при установке нейтрализатора. При разогреве двигателя на частоте $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ при температуре катализаторного блока $40-80 \text{ }^\circ\text{C}$ коэффициенты очистки X принимают значения: по NO_x – 22-25%, по CO – 31-18%, C_xH_y – 14-33%. На режиме холостого хода в диапазоне частот $1000-2500 \text{ мин}^{-1}$ при температуре катализаторного блока $80-120 \text{ }^\circ\text{C}$ имеем NO_x – 35-26%, CO – 71-8%, C_xH_y – 26-50% и ноль при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ и 2500 мин^{-1} по причине отсутствия C_xH_y в отработавших газах.

Для двигателей, работающих в режиме ДПМ интерес представляют результаты исследований на режимах нагрузок более 70% от максимальной на данной частоте при коэффициентах избытка воздуха $\alpha = 1,4-2,0$ и температурах ОГ 600-800 К, то есть режимы работы по нагрузочным характеристикам с $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$ и 4000 мин^{-1} и внешней скоростной характеристике, представленные графиками на рисунках 1-3.

В общем случае графики отражают известное положение о том, что эффективность работы каталитического нейтрализатора зависит от температуры каталитического блока и скорости потока газа через него. А в дизелях и от степени «отравления» катализатора сажей.

По нагрузочным и скоростным характеристикам рисунков 2 и 3 происходит одновременное изменение и температуры блока и скорости потока газа а, соответственно, и совокупное влияние на эффективность очистки. С ростом нагрузки и частоты увеличиваются и температура блока, и скорость потока из-за увеличения температуры ОГ и увеличения объемного (а по частоте и массового) расхода газа. Из рисунка 2 для частоты $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$ можно видеть постоянное увеличение коэффициента очистки по окислам азота и окиси углерода во всем интервале увеличения мощности, сопровождаемого повышением содержания NOx и CO в ОГ, ростом температуры ОГ и температуры каталитического блока. Последняя возрастает со 125 до 365 °С. Эффективность очистки по углеводородам не приводится в связи с их практическим отсутствием в ОГ.

Максимальный эффект нейтрализации достигается при полной нагрузке и температуре каталитического блока 365 °С и составляет: по NO_x – 48%, по CO – 38%.

Отличительной особенностью изменения коэффициента очистки по окислам азота при $n = 4000 \text{ мин}^{-1}$ в сравнении с $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$ является следующее. При однотипном характере содержания NO_x в ОГ, температуры ОГ и температуры каталитического блока коэффициент очистки по NO_x возрастает до значения мощности около 80% от максимального значения, а затем начинает снижаться, несмотря на продолжающееся увеличение температуры каталитического блока.

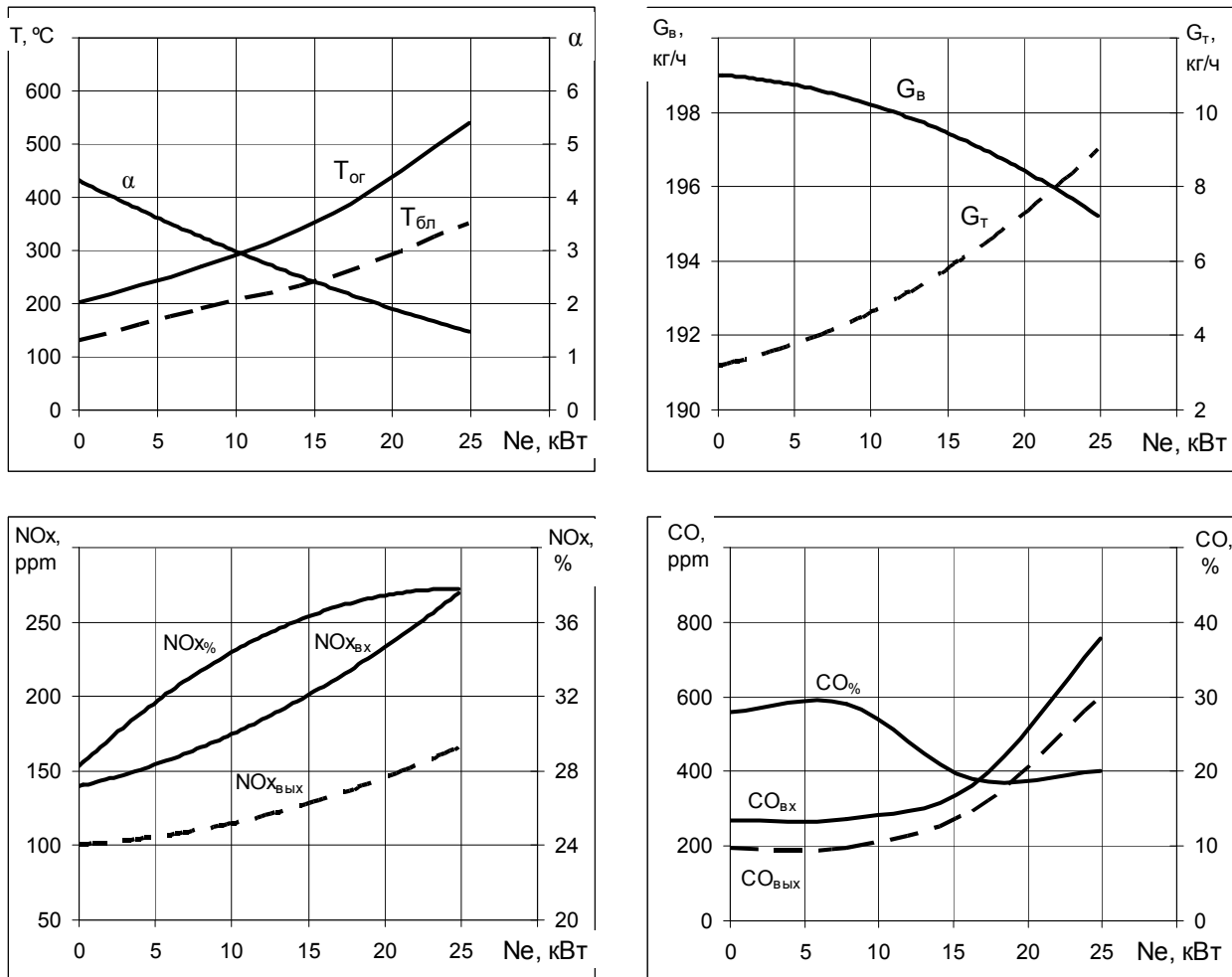


Рисунок 2 – Нагрузочная характеристика ВАЗ-341 ($n = 4000 \text{ мин}^{-1}$)

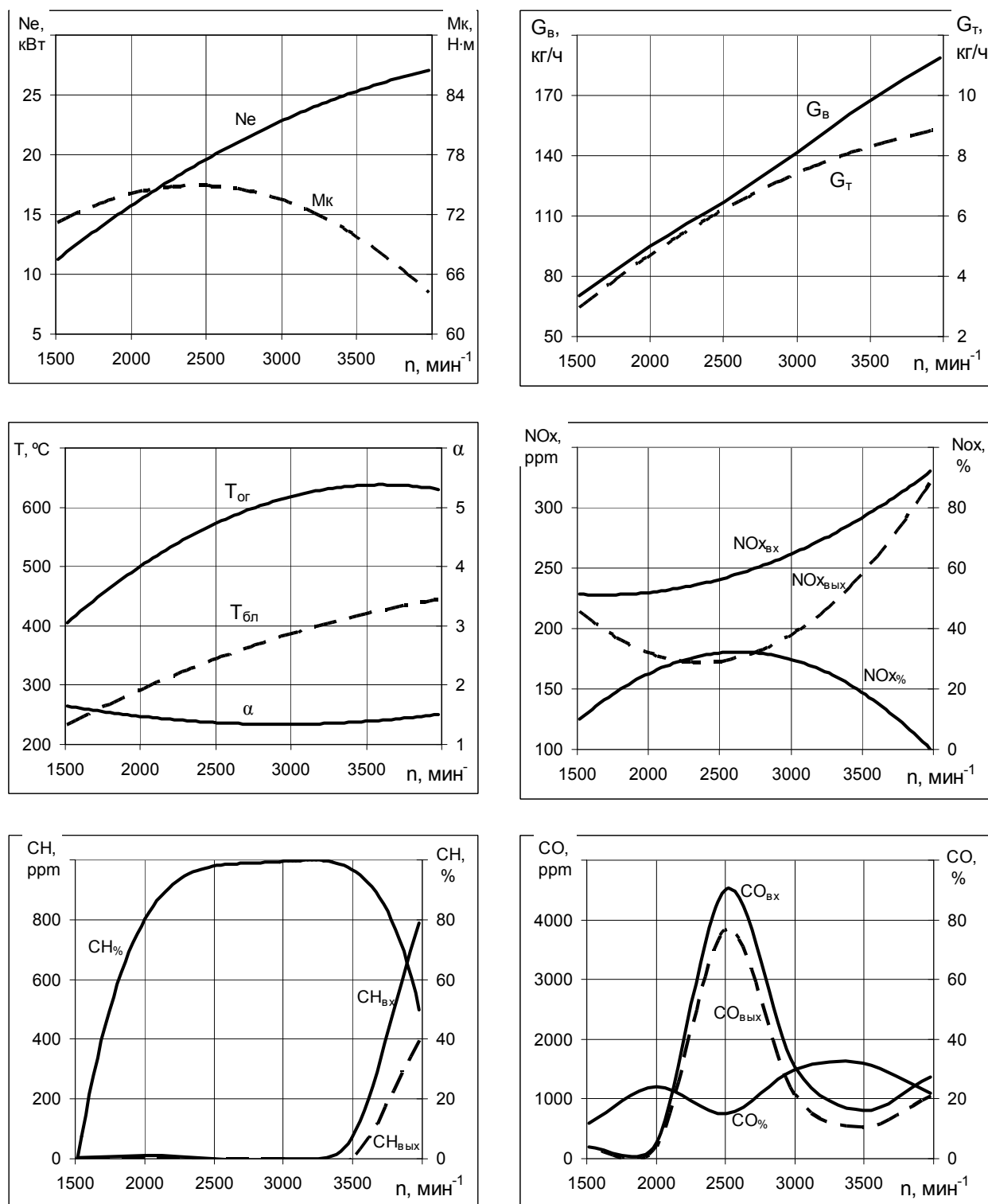


Рисунок 3 – Внешняя скоростная характеристика ВАЗ-341

Максимальная эффективность нейтрализации отработавших газов составляет: по окислам азота – 36%, по окиси углерода – 28%, по углеводородам – 90%.

Условия работы нейтрализатора по внешней скоростной характеристике дизеля (рисунок 3) имеют свои значительные отличия от условий по нагрузочным характеристикам. С увеличением мощности по нагрузочным характеристикам (рисунки 1 и 2) массовый расход газа (как сумма расходов воздуха и топлива) практически остается постоянным, а из-за обогащения топливо-воздушной смеси (снижение коэффициента α) существенно увеличивается температура ОГ и, как следствие, температура каталитического блока. По скоростной характеристике, наоборот, с увеличением частоты n значительно увеличивается расход газа, меньший интервал изменений температур ОГ и каталитического блока нейтрализатора при

бóльших их значениях. В диапазоне частот $n = 2000-3500 \text{ мин}^{-1}$ температура каталитического блока возрастает весьма слабо и практически равна $400 \text{ }^\circ\text{C}$. То есть изменение эффективности нейтрализации по окислам азота, в особенности ее падение, начиная с частоты $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$, определяется увеличивающейся скоростью движения газа в каталитическом блоке. На частоте $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ значение скорости при нормальных условиях и диаметре каталитического блока 100 мм составляет около 6 м/с . По исследованиям, выполненным ИК СО РАН, и рекомендациям в [5] предложено принимать значение скорости прохождения через каталитический блок не более 10 м/с .

Максимальная эффективность нейтрализации ОГ составила: по NO_x – 32%, по СО – 30%, по C_xH_y – 85%.

На всех исследованных режимах не обнаружено сколько-нибудь существенного влияния на снижение наполнения цилиндра свежим зарядом или на увеличение работы по очистке цилиндра от ОГ. Изменение мощности и расхода топлива в пределах 1%.

В заключение отметим, что нейтрализатор конструкции ИК СО РАН обеспечивает на режимах, сходных с режимами работы по характеристике постоянной мощности, получение коэффициента очистки по окислам азота не менее 30-40%. Одновременно снижается содержание СО и C_xH_y соответственно на 30 и 85%. Оптимальная температура составляет $370-400 \text{ }^\circ\text{C}$. Значение скорости потока через каталитический блок не более 10 м/м .

Судя по значениям температуры отработавших газов дизеля на режимах характеристики постоянной мощности, составляющим $450-550 \text{ }^\circ\text{C}$, оптимальная температура на нейтрализаторе в $370-400 \text{ }^\circ\text{C}$ может быть получена естественным путем – выбором места установки в системе выпуска.

Достижение желаемого эффекта нейтрализации ОГ, простота в исполнении и техническом обслуживании в эксплуатации, возможность получения оптимальной температуры каталитического блока выбором места установки в системе впуска без значительной ее переделки, отсутствие негативного влияния на мощность и расход топлива – вот те мотивы, которые позволяют конструкцию нейтрализатора окисного типа на основе платины ИК СО РАН принять за базовую при разработке средств нейтрализации ОГ перспективных дизелей семейства ОАО «ПО АМЗ», предназначенных для работы на режимах ХПМ и использовании системы топливоподачи типа CR.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кулманаков, С.П. Влияние повышенного давления впрыска на предпламенные процессы и индикаторные показатели двигателя 14Н 13/14 с топливоподающей аппаратурой «Common Rail» / С.П. Кулманаков, С.В. Яковлев // Двигатели внутр. сгорания: всеукр. науч.-техн. журн. -2011. -№2. -С. 34-36.

2 Результаты исследования рабочего процесса дизельного двигателя с аккумуляторной и штатной системами топливоподачи / Д.Д. Матиевский, А.В. Шашев, С.В. Яковлев, С.С. Кулманаков // Вестн. акад. воен. наук. -2011. -№2(35). -С. 232-239.

3 Кулманаков, С.П. Экспериментальный моторный комплекс с системой топливоподачи типа «Common Rail» для дизельных двигателей размерностью $D/S=13/14$ / С.П. Кулманаков, С.В. Яковлев // Сборник научных трудов международной конференции «Двигатель-2010», посвященной 180-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана / под ред. Н.А. Иващенко, В.А. Вагнера, Л.В. Грехова; МГТУ им. Н.Э. Баумана. -М., 2010. -С. 334-338.

4 Матиевский, Г.Д. Анализ и улучшение показателей работы дизеля на режимах постоянной мощности / Г.Д. Матиевский, А.Е. Свищула // Тезисы докладов научно-технической конференции 5-е Луканинские чтения «Решение энергэкологических проблем в автотранспортном комплексе» / МАДИ. -М., 2011. -С. 21-22.

5 Каталитические нейтрализаторы транспортных двигателей / О.И. Жегалин [и др.]. -М.: Машиностроение, 1979. -80 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *каталитический нейтрализатор; режим постоянной мощности; топливная система*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кулманаков Сергей Павлович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

Матиевский Герман Дмитриевич, инженер ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

Синицын Владимир Александрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Ларионов С.А. ФОРМИРОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МАГИСТРАЛИ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЕ ПОРТЫ-СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ»	3
Рыбкин П.Н. ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ЛЁТНЫХ ТРЕНАЖЁРОВ ВЕРТОЛЁТОВ ПО ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.....	6
Бахмарева Н.В. МЕТОДИКА ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	10
Рыбкин П.Н. ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ ПИЛОТОВ ВЕРТОЛЁТОВ	14
Васильев Р.В. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ НА ПРИТОКИ И БОКОВЫЕ РЕКИ	17
Омельченко Л.Ш. РАЗВИТИЕ НЕПРОФИЛЬНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ВУЗА КАК УСЛОВИЕ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ.....	21
Синицын М.Г. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАВОЗА ГРУЗОВ НА БОКОВЫЕ РЕКИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	24
Почесуева Ю.Ю., Левченко Н.Г. РЕШЕНИЕ ПЛОХО ФОРМАЛИЗОВАННЫХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ	28
Смирнов В.А., Семенов А.М. РИСКИ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	31
Выдрин Е.О. ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РОЛИ И ВЛИЯНИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА В РАЗВИТИИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	36
Куречка А.Г. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА ИНТЕГРАЦИИ ТРАНССИБИРСКОЙ И ТРАНСКОРЕЙСКОЙ МАГИСТРАЛЕЙ.....	39
Банщикова А.А. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ МАРШРУТА ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ВНЕШНЕТОРГОВОГО ГРУЗА.....	43
Верескун В.Д., Воробьев В.С., Пак М.В. СТРАТЕГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК СИБИРИ	45
Лунина Т.А. ПРОБЛЕМЫ ВОЗМЕЩЕНИЯ ЗАТРАТ ПЕРЕВОЗЧИКОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК.....	48
Колмогорова Т.В. РИСКИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕЕЗДАХ	51
Сокол К.Н. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	55
Турбинский В.В., Хмелев В.А. ОСНОВЫ ТРАНСГРАНИЧНОЙ ВОДНОЙ ПОЛИТИКИ СТРАН ЕВРОСОЮЗА	58
ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО	
Жмудь Д.Д., Королев В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СТРЕЛОК КОНТАКТНОЙ СЕТИ.....	61
Балдин В.Л., Буйносов А.П., Тихонов В.А. ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ11 ЗА СЧЕТ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ОСТАТОЧНОГО ПРОКАТА.....	63
Кузнецов А.Ю., Ивашкин С.В., Пичугин К.В., Герасименко А.С., Демин Ю.В., Иванов Г.В. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОПОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ С ОТТЯЖКАМИ НА СТЕПЕНЬ ОПАСНОСТИ КОРРОЗИИ АНКЕРНОГО УЗЛА	67
Кузнецов А.Ю., Ивашкин С.В., Пичугин К.В., Герасименко А.С., Демин Ю.В., Иванов Г.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОРРОЗИИ ЭЛЕМЕНТОВ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ОТТЯЖЕК ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО И УЛЬТРАВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЙ	70
Кузнецов А.Ю., Ивашкин С.В., Пичугин К.В., Герасименко А.С., Демин Ю.В., Иванов Г.В., Алаев Е.Г. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ КОРРОЗИИ В ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ОПОР С ОТТЯЖКАМИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	73
Сапов А.С. ВЛИЯНИЕ ОТСТУПЛЕНИЙ ОТ НОРМ СОДЕРЖАНИЯ ПУТИ НА ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ ТЕЛА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И УСТОЙЧИВОСТЬ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ.....	76
Величко Д.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА РЕЛЬСОСВАРОЧНОМ ПРЕДПРИЯТИИ	78
Иванова Т.В., Налабордин Д.Г. СТРАТЕГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ	81
Климов А.А., Старостина Т.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ПУТЕЙ СОРТИРОВОЧНЫХ ПАРКОВ С УЧЕТОМ ПРОТАЛКИВАНИЯ ВАГОНОВ	85

СОДЕРЖАНИЕ

Климов А.А., Гунбин А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ ВАГОНОВ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ ПРИ РОСПУСКЕ	88
Кротов С.В. НЕЛИНЕЙНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПЛОЩАДИ ЗОН СКОЛЬЖЕНИЯ В ПРЕССОВОМ СОЕДИНЕНИИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ВАГОНА	91
Красильникова Т.Г. ЧЕТЫРЁХФАЗНАЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧА КАК АЛЬТЕРНАТИВА ТРЁХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧЕ 1150 кВ.....	94
Кузнецов С.М., Гашкова А.В., Демиденко И.С., Шелепов А.М. ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ТЯГОВОЙ СЕТИ И ПОВЫШЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ ЕЁ ЗАЩИТЫ	97
Ли В.Н., Сапов А.С. ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТА НА СТАБИЛЬНОСТЬ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И УСТОЙЧИВОСТЬ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ	102
Седых В.А., Лапай А.Ю. О НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ПОНИЖЕНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ С УЧЕТОМ ВСЕХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ И ПРОЕКТИРУЕМЫХ РУСЛОВЫХ КАРЬЕРОВ ДОБЫЧИ НЕРУДНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА	105
СУДОВОЖДЕНИЕ	
Кац В.А., Комаровский Ю.А. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ НА ТОЧНОСТЬ ПРИЁМНИКА J-NAV500.....	108
Попов А.В. СОЗДАНИЕ АВТОРУЛЕВОГО СО СПЕЦИАЛЬНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА	111
Бимбереков П.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ СЕЧЕНИЯ ПИЛЛЕРСА	115
Краснов А.В., Краснов А.В. РАСЧЁТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ К ПОТОКУ ПЛАСТИНЫ	122
Краснов А.В., Краснов А.В. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ЗАМЕРОВ СКОРОСТИ, ДАВЛЕНИЯ И СИЛЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВИХРЕВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В БАССЕЙНЕ НГАВТ	128
Аносов Н.М., Конаков А.Г. ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПАЛУБНОГО ПАКЕТИРОВАННОГО ГРУЗА	131
Бимбереков П.А., Фомин А.В., Сашиков Н.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕМОНТА РАМНОГО СУДОВОГО НАБОРА БАРЖИ-ПЛОЩАДКИ ПРОЕКТА №Р-56 УСТАНОВКОЙ НА ЕГО СТЕНКИ НАКЛАДНЫХ ЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	136
Оськин Д.А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОРСКОГО СУДНА	141
Комаровский Ю.А. ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ В ПРИЁМНИКАХ СРНС И ECDIS СПОСОБОМ ПЛАВАНИЯ ПО МЕРИДИАНУ	145
Константинова Е.А. ВЛИЯНИЕ ПОМЕХ НА ТОЧНОСТЬ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ СУДНА	149
Дыда А.А., Константинова Е.А., Оськин Д.А. НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ СУДНА	153
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА	
Викулов С.В., Шеромов Л.А. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСА «ДИЗЕЛЬНАЯ СУДОВАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА – СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФЛОТА РЕЧНОГО ПАРОХОДСТВА»	156
Барановский А.М., Пахомова Л.В. НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ОБОЛОЧЕК	160
Викулов С.В., Шеромов Л.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА КАРТЕРНОГО МАСЛА.....	162
Зуев А.К. НЕМНОГО О ФЛАТТЕРЕ.....	165
Барановский А.М., Федосеева М.А. ЗАЩИТА КОРПУСА ОТ СТРУКТУРНОЙ ВИБРАЦИИ	167
Зуев А.К. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ПОСТОЯННОГО УСИЛИЯ	170
Титов С.В., Шмаков В.Д., Юр Г.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАВИТАЦИИ В КАПЛЕ ТЯЖЕЛОГО ТОПЛИВА, СОДЕРЖАЩЕЙ ТВЕРДУЮ ЧАСТИЦУ	175
Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ДЕФОРМАЦИИ И НАРУШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ СЛОЯ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ.....	180
Викулов С.В. РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ АМПЛИТУД КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОВОЙ ЛИНИИ ДИЗЕЛЬНЫХ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	184

СОДЕРЖАНИЕ

Викулов С.В. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА БАГС-4.....	187
Наприенко А.А. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВАЛОВЫХ ЛИНИЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	191
Романов Д.В., Бондарь В.Н., Малоземов А.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ДИЗЕЛЯ ПРИ ПУСКЕ.....	193
Максимейко Ю.Г., Новоселов А.А., Мельберт А.А. ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ 8412/12 ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	198
Инкижинов Н.С. ПОСТРОЕНИЕ ЯДРА СЕЧЕНИЯ, СОПРЯЖЕННОГО С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ.....	200
Хацевский К.В., Гоненко Т.В. ТЕРМООБРАБОТКА ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ПЛОСКИХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	204
Голубев Н.Ф. ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОГРУЖЕНИЯ В ВОДНУЮ СРЕДУ.....	207
Хайриева Э.М., Шагеев М.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ХРАНЕНИЯ МАЗУТА В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ РЕЗЕРВУАРЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	210
Коростелев С.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ШАРНИРНОГО СОЕДИНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА ПРИ КРУЧЕНИИ.....	212
Алемасов В.А., Борисов А.А., Зырянов В.М. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА В СУДОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ.....	215
Шувалов Г.В., Мамонов А.А. СОЗДАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПЛОТНОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	218
Шувалов Г.В., Ильин А.П., Клековкин И.В. ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	221
Семенюк А.В., Гармаш С.А. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕЙСА НА МОЩНОСТЬ ТУРБОАГРЕГАТА МОРСКОГО ГАЗОВОЗА.....	224
Федянин В.Я., Квашнин Ю.А. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ.....	228
Сеначин А.П., Сеницын В.А. ПРОБЛЕМА ВЫБОРА ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ГЛОБАЛЬНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЕ.....	232
Чертищев В.В., Ульрих С.А., Сеначин П.К. ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОГО ФАКЕЛА ДИЗЕЛЯ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАПЕЛЬ ТОПЛИВА ПО РАЗМЕРАМ.....	237
Пушнин В.П. ИЗМЕНЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ПРИ ВВЕДЕНИИ ПРОТИВОДЫМНЫХ ПРИСАДОК К ТОПЛИВУ.....	241
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	
Горелов В.П., Дзюба П.А., Рамазанов М.З., Токомбаев Т.Ж., Шкитов Д.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАВУЧИХ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И КАЗАХСТАНА.....	244
Любченко А.А., Копытов Е.Ю. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И СВЯЗИ С УЧЕТОМ ОШИБОК ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПЕРВОГО И ВТОРОГО РОДА.....	247
Кочетков В.П., Коловский А.В. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ И ЯВНОЙ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСКАВАТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	250
Исмаилов Ш.К., Гателюк О.В., Бублик В.В., Селиванов Е.И. СТАТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА – СПОСОБА НАЛАДКИ КОММУТАЦИИ.....	254
Сериков А.В., Кузьмин В.М., Костюченко В.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ ДЛЯ УСТАНОВОК НАГРЕВА ВОДЫ.....	257
Ступаков С.А. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	260
Рысев Д.В. ВЛИЯНИЕ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА НА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС.....	264

СОДЕРЖАНИЕ

Коробеньков А.Д., Коробейников С.М. ОЦЕНКА ЭКРАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ	268
Левин В.М., Танфильева Д.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	271
Афанасьев К.С., Глазырин А.С., Полищук В.И., Тимошкин В.В. НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЕЗДАТЧИКОВЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ МЕХАНИЗМА ТРАНСПОРТИРОВКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ	275
Зайцева Н.М. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЛОЕВ ГРУНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ	278
Ткачук Р.Ю., Глазырин А.С., Полищук В.И., Глазырина Т.А., Тимошкин В.В., Козлова Л.Е. НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В УСЛОВИЯХ СИЛЬНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ	282
Лавринович В.А., Мытников А.В. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА	286
Лавринович В.А., Пичугина М.Т., Рамазанова А.Р. ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСЕКУНДНЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	292
Хрущев Ю.В., Токарев И.С. ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА К ИССЛЕДОВАНИЯМ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	295
Тоньшев В.Ф. О ФОРМИРОВАНИИ УСТАВОК И ОБЛАСТЕЙ СРАБАТЫВАНИЯ ИДЕНТИФИКАТОРОВ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА СИНХРОННЫХ МАШИН С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ	298
Петрова Е.В., Гиршин С.С., Бубенчиков А.А., Кириченко Н.В. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОМ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ	302
Петрова Е.В. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ПРОВОДАХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ	306
Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А. О МЕТОДИКЕ К ВЫБОРУ ТИПА ЭЛЕКТРОМАГНИТА ПО ЗНАЧЕНИЯМ КОНСТРУКТИВНОГО ФАКТОРА	310
Дзюба П.А. ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕСТНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	313
Денчик Ю.М., Дзюба П.А., Рамазанов М.З., Шкитов Д.А., Сарин Л.И., Иванова Е.В. КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЕНСИРОВАННОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ	316
Денчик Ю.М. РЕАКЦИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО НЕЙТРАЛЬ ДУГОГАСЯЩЕГО РЕАКТОРА С ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ РЕЖИМА СЕТИ 10 кВ	319
Манусов В.З., Демидас Ю.М., Макаров И.С. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	324
Денчик Ю.М., Дзюба П.А., Рамазанов М.З., Шкитов Д.А., Сарин Л.И. РЕЗИСТИВНО-ИНДУКТИВНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ НЕЙТРАЛИ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ КАК РЕЦЕПТОР РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	327
ЭКОЛОГИЯ	
Бучельников М.А., Перфильев А.А., Панов А.В., Чирков В.А., Спиренкова О.В., Тушина А.С., Рощина Е.К. ВОДОЕМЫ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА	332
Максимейко Ю.Г., Новоселов А.А., Новоселов А.Л. УРОВНИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ПЖД-30	335
Новоселов А.Л., Салмин А.Н., Медведев Г.В., Новоселов А.А., Печеникова Д.С. ОЦЕНКА УРОВНЯ ШУМА ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН	338
Салмин А.Н., Новоселов А.А., Новоселов А.Л., Медведев Г.В. СНИЖЕНИЕ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ ВЫПУСКА ДИЗЕЛЕЙ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН	342
Новоселов А.А., Салмин А.Н., Мельберт А.А., Печеникова Д.С. УРОВНИ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЭКИПАЖИ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН	346
Турбинский В.В., Хмелев В.А. ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ АЛТАЙСКОГО КРАЯ	350
Кулманов С.П., Матиевский Г.Д., Сеницын В.А. ВЫБОР И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРАЛИЗАТОРА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ДЛЯ ДИЗЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА РЕЖИМАХ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ С СИСТЕМОЙ ТОПЛИВОПОДАЧИ CR	354

К 70-летию ГОРЕЛОВА ВАЛЕРИЯ ПАВЛОВИЧА

Горелов Валерий Павлович родился 31 октября 1941 года в г. Славгороде Алтайского края в семье рабочего, русский. В 1959 году окончил Славгородскую среднюю школу и в этом же году поступил в Томский политехнический институт на электроэнергетический факультет (специальность «Проектирование и эксплуатация атомных установок»; специализация – «Техника высоких напряжений»). В 1964 году перевёлся на физико-технический факультет, который окончил в 1965 г. по специальности «Физическая: автоматика и электроника».

Трудовую деятельность начал в период обучения в Томском политехническом институте – в 1959-1961 гг. работал электриком Томского энергосбыта. С 1965 г. по распределению работал на Горьковском судостроительном заводе «Красное Сормово» старшим инженером, а затем в должности судостроителя «Производственного отдела автоматизации». Работал по отладке автоматизированных систем судов на подводных крыльях и водо-водяных ядерных реакторов ВМ-4-1 серии подводных лодок проекта 670 «Скат».

С 1967 г. работал старшим инженером-конструктором Горьковского исследовательского физико-технического института в лаборатории физики металлов. Участвовал в исследованиях металлических сплавов для подводных крыльев и прочных корпусов морских и речных судов. В 1968 году поступил в очную аспирантуру СибНИИ Энергетики, в 1972 г. защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 – «Техника высоких напряжений».

В 1973 г. избран по конкурсу старшим преподавателем Алтайского политехнического института кафедры ЭПП, а с 1976 г. избран доцентом. Решением ВАК в 1977 г. присвоено учёное звание доцента по кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий городов и сельского хозяйства». В связи с работой над докторской диссертацией с 1980 по 1981 гг. переведён на должность старшего научного сотрудника.

В 1981 г. избран по конкурсу заведующим кафедрой «Теоретические основы электротехники» Новосибирского института инженеров водного транспорта, переименованного в Новосибирскую государственную академию водного транспорта (1994 г.).

После защиты диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук в 1989 г. решением ВАК присуждена учёная степень доктора технических наук (специальность 01.04.13 – «Электрофизика»). Решением Государственного комитета СССР по народному образованию в 1989 г. присвоено учёное звание профессора по кафедре «Теоретические основы электротехники».

В.П. Горелов известный учёный в области электрофизики и материаловедения, автор более 400 научных работ. Из них 6 учебных пособий с грифом Министерств, 13 монографий, 52 авторских свидетельства на изобретения и патентов СССР, Англии, Франции, Германии, Канады, США, Италии, Казахстана и Российской Федерации. Результатом явилось представление Горелова В.П. к почётному званию «Заслуженный изобретатель Российской Федерации».

Новаторское решение большого комплекса теоретико-практических задач связано с именем В.П. Горелова. Он впервые показал, что направленное регулирование электрической проводимости сложных гетерогенных сред возможно с помощью технологических способов, изменением концентрации и типа специальных проводящих и изоляционных ингредиентов. С 1989 по 1995 годы В.П. Горелов публикует в 4-х монографиях результаты исследований и области применения разработок. Им предложены способы управления явлениями и процессами, лежащими в основе производства мощных композиционных резисторов и электронагревателей.

Горелов В.П. является научным руководителем постоянной международной научно-технической конференции «Энергетика, экология, энергоснабжение, транспорт», заместителем главного редактора журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока».

В созданной научной школе В.П. Гореловым подготовлено и защищено более 30 диссертаций на соискание учёной степени кандидата технических наук по 4 научным специальностям. В последние годы при его научном консультировании защищены 3 докторских диссертации, проходят обучение 20 аспирантов и соискателей, оформлены в докторантуру 4 доцента. Горелов В.П. является научным руководителем госбюджетной НИР на кафедре с 1985 года.

Профессор В.П. Горелов является председателем диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций в Новосибирске (НГАВТ). Будучи действительным членом Академии транспорта России, Международной экоэнергетической академии и Российской академии естественных наук В.П. Горелов активно участвует в их работе. Продолжает совместные исследования с учёными Казахстана, Азербайджана и Украины. Свою активную научную работу В.П. Горелов сочетает с научно-педагогической и административной деятельностью, являясь в течение 30 лет заведующим кафедрой «Электроэнергетические системы и электротехника».

Награждён: медалью ВДНХ СССР в 1972 году; знаком «Изобретатель СССР» в 1973 году; знаком «Отличник энергетики и электрификации» в 1979 году; отраслевым нагрудным знаком «60 лет ГОЭЛРО» в 1982 году; медалью «300 лет Российскому флоту» в 1996 году; знаком «Заслуженный изобретатель Российской Федерации» в 1998 году; знаком «Отличник речного флота» в 2001 году, знаком «За труд на благо города (110 лет Новосибирску)» в 2003 году; орденом РАЕН «За пользу отечеству» им. В.Н. Татищева в 2005 году; орденом РАЕН «Рыцарь «Науки и искусства» в 2005 году; знаком «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» в 2010 году.

Коллеги по работе и деятели в общественных и научных организациях поздравляют Валерия Павловича с юбилеем и желают ему здоровья, удачи и дальнейших творческих успехов в развитии энергетики страны и решении проблем флота!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока» присоединяется к этим поздравлениям и надеется на продолжение нашего плодотворного сотрудничества.



УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №1 журнала за 2012 год. Материалы (заявку, статью, рецензию) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: konvalov@nsawt.ru. Оригиналы по почте на адрес Академии с пометкой для Коновалова В.В. Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 25 апреля 2012 г.

Заявка на публикацию научной статьи в №1 журнала за 2012 год

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

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

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

Дата

Подпись(и)

Требования к представлению материалов:

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

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

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

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ
Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.

Подписано в печать 23.12.2011 г. с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.
Усл. печ. л. 42,4; тираж 1050 экз. Заказ №
Цена договорная.

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
(ФБОУ ВПО «НГАВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68,
факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ISSN 2071-3827

Почтовый индекс 62390