

ИНФРАСТРУКТУРА ТРАНСПОРТА: ЛОГИКА И ЛОГИСТИКА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

С.Н. Масленников

TRANSPORT INFRASTRUCTURE: LOGIC AND LOGISTICS
Siberian state university of water transport
S.N. Maslennikov

The concept of transport infrastructure and its legal and economic content. On the basis of the historical and systemic approach conclusions about the evolution of the concept of "transport infrastructure".

Keywords: transport, infrastructure

Рассмотрено понятие транспортной инфраструктуры, ее правовое и экономическое содержание. На основе исторического и системного подхода сделаны выводы об эволюции понятия «транспортная инфраструктура».

По данным Online Etymology Dictionary [1] термин инфраструктура (лат. *Infra* – «ниже», «под» и лат. *Structura* – «строение», «расположение»), как комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и/или обеспечивающих основу функционирования системы в английском языке применяется с конца 1920-х годов, а в соответствии с Оксфордским словарём этот термин заимствован из военной лексики, куда пришёл из французского языка. В экономической литературе термин инфраструктура, появившийся в конце 40-х годов XX века для обозначения комплекса отраслей хозяйства, обслуживающих промышленное и сельскохозяйственное производство (строительство шоссейных дорог, каналов, портов, мостов, аэродромов, складов, энергетическое хозяйство, железнодорожный транспорт, связь, водоснабжение и канализация, общее и профессиональное образование, расходы на науку, здравоохранение и тому подобное). Между тем, определение «инфраструктура» шире, чем просто термин. Инфраструктура, с точки зрения логики выражает понятие объединяющее слово, систему признаков и смысл.

Широкое использование понятия транспортная инфраструктура и необходимость использования этого понятия в моделировании и управлении требует аналитического исследования.

Между тем, Жюль Дюпюи (1804-1866) – один из многих инженеров-экономистов XIX столетия, в ряде пионерных статей, таких, как «О сборах и транспортных тарифах» (*On Tolls and Transport Charges*, 1842), «К вопросу об измерении полезности общественных работ» (*De la Mesure de l'Utilite des Travaux Publics*, 1844) и «О полезности и ее измерении» (*De l'Utilite et de Sa Mesure*, 1853), поднял вопрос о том, как оправдать государственное строительство дорог, тоннелей и мостов, руководствуясь критерием общественной выгоды [2]. В своих трудах Ж. Дюпюи критиковал подход к обоснованию проектов по строительству мостов и дорог, основанный только на выгоде производителя. Он обосновал, что интересы производителей и потребителей транспортных услуг разделены: первые желают получать доход от увеличения объемов перевозок, вторые – от снижения различного рода издержек (финансовых, временных, дискомфорта) в процессе преодоления пространства. Таким образом, около ста пятидесяти лет назад француз Дюпюи, ставший впоследствии министром транспорта и дорог, сформулировал несовпадающую с базовыми отраслями экономическую суть транспорта и транспортной инфраструктуры.

К. Маркс определил транспорт и транспортную промышленность как отрасль материального производства и показал, что процесс производства заканчивается после его доставки. То есть затраты на транспорт, включающие затраты на инфраструктуру транспорта являются результирующими в процессе производства.

Понятие транспортной системы включает транспортную инфраструктуру, транспортные предприятия, транспортные средства и управление в совокупности. Институт комплексных транспортных проблем (ИКТП) при Госплане СССР определял Единую транспортную систему СССР как взаимосвязанную систему, действующих в стране видов транспорта, функционирование и развитие которых планомерно согласовано в пространстве и во времени с целью обеспечения максимального удовлетворения транспортных потребностей населения и отраслей народного хозяйства при минимальных затратах.

В настоящее время понятие транспорта, транспортной инфраструктуры, инфраструктуры транспорта используются и как тождественные понятия и различные. То есть инфраструктура транспорта зачастую понимается как вспомогательная отрасль транспорта.

Понятие «инфраструктура» вошло в российское транспортное законодательство для определения объектов и производственных комплексов, предназначенных для обслуживания грузовладельцев и транспортных операторов, а также для обеспечения работы транспортных средств.

В таблице приведены определения понятия «инфраструктура» данные в законодательстве РФ к настоящему времени.

Таблица – Понятие «инфраструктура» в законодательстве РФ

Нормативно-правовой акт	Извлечение из документа
Федеральный закон от 10 января 2003 г. №18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации»	инфраструктура железнодорожного транспорта общего пользования (далее – инфраструктура) – технологический комплекс, включающий в себя железнодорожные пути общего пользования и другие сооружения, железнодорожные станции, устройства электроснабжения, сети связи, системы сигнализации, централизации и блокировки, информационные комплексы и систему управления движением и иные обеспечивающие функционирование этого комплекса здания, строения, сооружения, устройства и оборудование
Федеральный закон от 10 января 2003 г. №17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации»	железнодорожный транспорт общего пользования – производственно-технологический комплекс, включающий в себя инфраструктуры железнодорожного транспорта, железнодорожный подвижной состав, другое имущество и предназначенный для обеспечения потребностей физических лиц, юридических лиц и государства в перевозках железнодорожным транспортом на условиях публичного договора, а также в выполнении иных работ (услуг), связанных с такими перевозками; инфраструктура железнодорожного транспорта общего пользования (далее – инфраструктура) – технологический комплекс, включающий в себя железнодорожные пути общего пользования и другие сооружения, железнодорожные станции, устройства электроснабжения, сети связи, системы сигнализации, централизации и блокировки, информационные комплексы и систему управления движением и иные обеспечивающие функционирование этого комплекса здания, строения, сооружения, устройства и оборудование
Федеральный закон от 8 ноября 2007 г. №259-ФЗ «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта»	объекты транспортной инфраструктуры – сооружения, производственно-технологические комплексы, предназначенные для обслуживания пассажиров, фрахтователей, грузоотправителей, грузополучателей, перевозчиков и фрахтовщиков, а также для обеспечения работы транспортных средств
Кодекс внутреннего водного транспорта Российской Федерации от 7 марта 2001 г. №24-ФЗ	инфраструктура внутренних водных путей – совокупность объектов, обеспечивающих судоходство по внутренним водным путям и включающих в себя судоходные гидротехнические сооружения, маяки, рейды, пункты отстоя, места убежища, средства навигационного оборудования, объекты электроэнергетики, сети связи и сооружения связи, системы сигнализации, информационные комплексы и системы управления движением судов, суда технического флота (суда, предназначенные для выполнения путевых, навигационно-гидрографических, вспомогательных работ и других связанных с содержанием внутренних водных путей работ), и иных обеспечивающих их функционирование понятие объектов; инфраструктурам речного порта
Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации от 30 апреля 1999 г. №81-ФЗ	под морским портом понимается совокупность объектов инфраструктуры морского порта, расположенных на специально отведенных территории и акватории и предназначенных для обслуживания судов, используемых в целях торгового мореплавания, комплексного обслуживания судов рыбопромыслового флота, обслуживания пассажиров, осуществления операций с грузами, в том числе для их перевалки, и других услуг, обычно оказываемых в морском порту, а также взаимодействия с другими видами транспорта

Продолжение таблицы

Нормативно-правовой акт	Извлечение из документа
Федеральный закон №16-ФЗ от 9 февраля 2007 г. «О транспортной безопасности»	инфраструктура включает используемые транспортные сети или пути сообщения (дороги, железнодорожные пути, воздушные коридоры, каналы, трубопроводы, мосты, тоннели, водные пути и т. д.), а также транспортные узлы или терминалы, где производится перегрузка груза или пересадка пассажиров с одного вида транспорта на другой (например, аэропорты, железнодорожные станции, автобусные остановки и порты)

Очевидно, правовое обособление объектов транспортной инфраструктуры стало необходимым в современных рыночных условиях.

Европейский экономический союз, реализуя программу развития инфраструктуры Connecting Europe («Соединить Европу») создали четыре основных соглашения, направленных на развитие согласованных сетей для автомобильных (СМА), железнодорожных (AGC), внутренних водных (AGN) и комбинированных перевозок (AGTC) соответственно. Эти соглашения ориентированы на эксплуатационные параметры инфраструктуры транспортной сети.

Поскольку сам транспорт является инфраструктурой экономики нельзя не обратиться к теории систем.

В соответствии с классификацией теории систем транспорт относится одновременно к сложным и большим системам.

Сложные системы состоят из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, каждый из которых может быть представлен в виде системы (подсистемы). Достаточным условием сложных систем является наличие одного из следующих признаков:

- систему можно разбить на подсистемы и изучать каждую из них отдельно;
- система функционирует в условиях существенной неопределённости и воздействия среды на неё, обуславливает случайный характер изменения её показателей;
- система осуществляет целенаправленный выбор своего поведения.

С другой стороны транспорт имеет следующие признаки больших систем:

- большие размеры;
- сложная иерархическая структура;
- циркуляция в системе больших информационных, энергетических и материальных потоков;
- высокий уровень неопределённости в описании системы.

Транспортная инфраструктура является подсистемой транспортных систем и включает пути сообщения, терминальные объекты, а также вспомогательные средства и системы (энергоснабжения, связи, управления движением, обмена данными и т.д.).

Таким образом, трактовку термина «инфраструктура» необходимо всякий раз уточнять в зависимости от контекста, в котором этот термин используется.

Разнообразие мнений о сути инфраструктуры позволяет сделать вывод, что, с одной стороны, инфраструктура представляет собой совокупность материальных объектов специализированных производств, видов деятельности и субъектов хозяйствования, а с другой - совокупность организационных, производственных их и социальных функций, которые заключаются в обеспечении доставки груза до потребителя.

Современное понимание транспортной инфраструктуры должно учитывать следующие подсистемы:

- производственная инфраструктура (транспортные средства, перегрузочные комплексы, складское хозяйство, информационное обеспечение, техническое обслуживание);
- институциональная инфраструктура (государственное регулирование: правовое институциональное, экономическое, экологическое, техническое);
- рыночная инфраструктура (транспортно-экспедиционные компании, финансовые и маркетинговые, сюрвейерские и рекрутинговые компании);
- инновационная инфраструктура (проектные, научно-исследовательские, консалтинговые компании).

Такое понимание транспортной инфраструктуры соответствует современному понятию транспортно-логистической инфраструктуры, используемому в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г., и ориентированной на рационализацию процесса

продвижения товаров и услуг от поставщиков сырья к потребителям, а также функционирования сферы обращения продукции, товаров, услуг, управления товарными запасами и создания условий для развития инфраструктуры товародвижения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Online Etymology Dictionary [Electronic resource]. -Режим доступа: URL: [http:// www.etymonline.com/](http://www.etymonline.com/) . -10.03.2015.
2 Галерея экономистов [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: [http:// gallery.economicus.ru/](http://gallery.economicus.ru/) . -10.03.2015.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспорт, инфраструктура
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Масленников Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.М. Варакса

COMPREHENSIVE APPROACH TO NATIONAL ECONOMY
Siberian state university of water transport
A.M. Varaksa

In the article points of view to the term «national economic» are discussed. The article focuses on elements of national economic. It's also touches upon the basic characteristics of national economic. The trends in modern economic theory and its practical significance are given.

Keywords: variety of the economic system, the structure of national economic, social-labor relations, commercial relations

Рассматривается категория «национальная экономика». Представлена авторская модель национальной экономики и рассмотрены ее системы и подсистемы. Указываются её основные общесистемные и специфические свойства. Дается классификация элементов национальной экономики.

Понятие национальной экономики вошло в научный оборот нашей страны сравнительно недавно. Введение нового термина было связано с необходимостью учитывать страновые особенности развития. На этом настаивали ведущие российские экономисты, такие как В. Рязанов, П. Савченко, А. Бузгалин и другие, доказывая, что универсальные советы так называемого «Экономикса» приемлемы далеко не для всех стран.

В настоящее время определений национальной экономики несколько. По мнению П.В. Савченко: её можно определить «как совокупность производительных сил, производственных отношений, социокультурных традиций ведения хозяйства и ценностей, влияющих на особенности экономического развития страны» [1, 2]. В.М. Кульков характеризует теорию национальной экономики как теорию национального экономического строя, под которым он понимает «такую систему экономических отношений и институтов, которая берется в единстве со всеми внутренними и внешними, экономическими и неэкономическими факторами, присущими стране, равно как и с целями национального экономического развития» [3]. Таким образом, можно сделать два важных вывода. Во-первых, нельзя игнорировать ни один из типов отношений или институтов. Во-вторых, исследование национальной экономики – это исследование постоянно развивающейся системы. А.В. Сидорович, Е.Г. Чистяков и другие считают нужным подчеркнуть необходимость использования исторического подхода и дать анализ, не ограничиваясь одним этапом развития общества [3, 5].

Цель нашей статьи – охарактеризовать национальную экономику как систему и определить составляющие её подсистемы.

Несмотря на актуальность концепции национальной экономики, в современной научной литературе мы встречаем не так много теоретических разработок по этой проблеме.

Система национальной экономики характеризует в первую очередь её экономические блоки, а также её субъектов.

Национальная экономика как система имеет ряд как общесистемных так и специфических свойств. К ним относятся:

– целостность, которая проявляется в том, что изменение поведения любого компонента национальной экономики или связей между ними воздействует на прочие элементы и изменяет систему в целом;

– интегративность экономической системы заключается в том, что она обладает специ-

фическими свойствами, отсутствующими у ее элементов;

– иерархичность означает, что национальная экономика «включена подсистемой в систему более высокого порядка – мировую экономику», но при этом «каждый ее компонент также является системой» [4];

– динамичность проявляется в том, что национальная экономика, как и любая другая экономическая система, постоянно пребывает в развитии. При этом развитие вовсе не означает скачкообразную трансформацию системы и переход её в новое качество [4];

– нечеткость границ: один и тот же экономический субъект может одновременно принимать участие в разных процессах самоорганизации экономики;

– неявность: структура национальной экономики нередко скрывается за отношениями административной подчиненности;

– сложность прогнозирования. Система национальной экономики не поддается четкому и детальному прогнозу;

– высокая зависимость от состояния внешней среды, а именно, от тенденции развития мирового хозяйства.

Следовательно, все элементы национальной экономики связаны друг с другом. Взаимосвязь это настолько сильна, что изучение любого явления или процесса целесообразно осуществлять только как составной элемент всей системы. Для того чтобы было проще отслеживать влияние составных элементов национальной экономики друг на друга, нами предлагается следующая модель. Она включает две подсистемы: подсистему материально-организационных отношений и подсистему общественно-организационных отношений, и состоит из 7 блоков.

Подсистема материально-организационных отношений включает вещественный фактор производства и его конечный результат. Её характеризуют состояние материально-ресурсной базы страны, степень научно-технического развития, качество потребительских товаров и услуг. В рамках подсистемы материально-организационных отношений реализуются отношения по поводу воспроизводства материальных благ и услуг.

Подсистема общественно-организационных отношений включает отношения, складывающиеся между людьми по поводу распределения результатов труда. В рамках подсистемы общественно-организационных отношений реализуются отношения по поводу обращения и распределения материальных результатов производства и воспроизводства личного фактора.

Вся система в целом скреплена отношениями собственности и управления. Как первая, так и вторая подсистемы имеют внутризкономическую и внешнеэкономическую сферы реализации.

Рассмотрим блоки национальной экономики более подробно.

1 Подсистема материально-организационных отношений:

1а Отношения по поводу воспроизводства природных ресурсов.

Природные являются предметами труда для всех обрабатывающих отраслей и таким образом создают средства производства практически для любого производства общественно полезных благ и услуг. Характеристика природно-ресурсной базы является важнейшим индикатором благосостояния страны, поэтому отношения по поводу их воспроизводства и использования должны быть четко отрегулированы законодательством.

1б Отношения по поводу воспроизводства физического капитала.

Физический капитал включает здания, сооружения, машины, оборудование, информационные технологии, а также научно-технические разработки. Отношения по поводу воспроизводства физического капитала определяются установленными в стране отношениями собственности. Без наличия материально-технической базы невозможно никакое производство, однако для создания благ и услуг необходимо не просто ее существование, а соединение средств производства с рабочей силой.

1в Отношения по поводу воспроизводства потребительских благ и услуг затрагивают каждого члена общества.

Потребительские блага и услуги представляют собой конечный результат экономической созидательной деятельности. Это все то, что способно удовлетворять повседневные жизненные потребности людей, приносить людям пользу, доставлять удовольствие. При этом потребительские блага существуют в ограниченном количестве, что ведет к экономической борьбе за них. Доступ к тем или иным благам и услугам, а также возможность использовать их в повседневной жизни различными категориями граждан является одной из

важнейших характеристик социально-трудовых отношений.

1г Отношения по поводу воспроизводства производственной и непроизводственной инфраструктуры.

Этот блок самый новый в общественном производстве, и его появлению мы обязаны промышленной революции XIX века. Именно благодаря ей инфраструктура начинает развиваться. На сегодняшний день это не просто важный элемент народного хозяйства. В период НТП усилилась зависимость темпов экономического роста и экономической эффективности от производственной и непроизводственной инфраструктуры, поэтому от её состояния напрямую зависит развитие национальной экономики. Развитая производственная инфраструктура значительно облегчает производственные процессы, тем самым активизируя использование личного фактора. Кроме всего вышесказанного, инфраструктура занимает значительную долю в мировом валовом продукте.

2 Подсистема общественно-организационных отношений включает в себя следующие блоки:

2а Социально-трудовые отношения.

Роль социально-трудовых отношений в развитии национальной экономики во многом определяется взаимодействием экономической и социальной сторон общественного развития. Если рассматривать социальные отношения вне сферы производства, экономика будет сводиться к «техничко-экономическим отношениям в сфере производительных сил», однако «экономические отношения не могут реализоваться вне социальной стороны» [6]. Развитие социально-трудовых отношений характеризуется качеством трудовых ресурсов страны, также культурным уровнем и духовными потребностями населения и степенью удовлетворения этих потребностей. Их состояние отражается на материально-технической базе, играет определяющую роль при изменениях в общественной жизни.

Функционирование прочих блоков национальной экономики напрямую зависит от эффективной занятости, стимулов к труду, современных систем образования и воспитания [6]. Интеллектуальный капитал создает техническую базу страны, квалификация работников во многом определяет качество производимых товаров и услуг, напрямую участвует в создании производственной и непроизводственной инфраструктуры и в конечном итоге влияет на развитие национальной экономики в целом. Эффект от вложений в сферу социально-трудовых отношений, как правило, намного превышает затраты.

2б Финансовые отношения.

Финансовые отношения представляют собой систему отношений, связанных с обращением, распределением и использованием денежных средств. Соответственно различают три основные функции финансов в рамках национальной экономики: распределительная, стимулирующая и контрольная. Основу кредитно-финансовой системы составляют Центральный банк, прочие банки, различные кредитно-финансовые учреждения. К концу XX века возросла роль мировых денег, значительно изменились и финансовые отношения. С 1985 года объём финансовых операций возрос более чем в 10 раз. Финансовые спекуляции в итоге стали основной причиной мирового финансового кризиса 2008 года.

2в Коммерческие отношения.

В широком смысле коммерческие отношения – это отношения, возникающие по поводу получения предпринимательской прибыли в разных секторах экономики. В узком смысле – отношения, возникающие главным образом при реализации продукции и оказании услуг с целью получения коммерческой прибыли. Коммерческие отношения играют важную роль в процессе распределения и перераспределения благ и услуг.

Все подсистемы национальной экономики имеют как внутриэкономическую, так и внешнеэкономическую сферы реализации. Значение последней крайне возросло в период глобализации. Внешнеэкономическая деятельность включает в себя не только участие страны в международных экономических отношениях, она также отражает то, какое место занимает национальная экономика в системе мирового хозяйства, какова её роль, а также насколько успешно страна осуществляет конкурентную борьбу с другими странами.

Таким образом, мы можем констатировать, что национальная экономика – это сложнейшая система, которая включает в себя 7 блоков отношений воспроизводства. С развитием товарного хозяйства эта система все более и более усложнялась. Поэтому, на наш взгляд, для её анализа желательно учитывать все её элементы. При этом не следует забывать, что в эпоху глобализации страна становится экономически открытой системой, поэтому она подвержена влияниям мировой экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Варакса, А.М. Направления развития экономики как науки в постсоветский период / А.М. Варакса, Ю. Ласкина // Холодильные установки. Сер. Экономика и эколог. менеджмент: электрон. науч. журн. / СПбГУНиПТ. -2012. -№ 1.
- 2 Национальная экономика: учебник / под. ред. П.В. Савченко. –Москва: Экономистъ, 2005. 3. Национальная экономика: вопросы теории и проблемы преподавания // Рос. экон. журн. -2001. -№10/ 11. -С. 55-56.
- 3 Национальная экономика: вопросы теории и проблемы преподавания // Рос. экон. журн. -2001. -№10/11. -С. 55-56.
- 4 Ерохина, Е.А. Теория экономического развития / Е.А. Ерохина. -Томск: Изд-во ТГУ, 1999. 35 с.
- 5 Каменецкий, В. А. Социально-трудовая сфера в условиях трансформации российской экономики: автореф. дис. ... д-ра экон. наук / В. А. Каменецкий. -М., 2003. -14 с.
- 6 Афанасенко, И.Д. Экономика и духовная программа России / И.Д. Афанасенко // История русской цивилизации: в 3 кн. -Изд. второе, доп. -Санкт-Петербург, 2007. -Т. 1. -С. 32.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *многообразие хозяйствующих субъектов, структура национальной экономики, социально-трудовые отношения, коммерческие отношения*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Варакса Анна Михайловна, канд.экон.наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ МАРШРУТНЫХ РАСПИСАНИЙ ДЛЯ МАЛЫХ ПАССАЖИРСКИХ АВТОПРЕДПРИЯТИЙ

WSP Global Inc

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»

Г.В. Таубкин, О.Г. Коптелов, Г.П. Быкова

AUTOMATION PROBLEMS IN SCHEDULING FOR SMALL TRANSIT AGENCIES

WSP Global Inc

State technical university – MADI

G.V. Taubkin, O.G. Koptelov, G.P. Bykova

The description of the online scheduling system for fixed-routes bus timetables with easy to use software tools.

Keywords: timetable, scheduling, passenger flow

Приводится описание онлайн системы, предназначенной для составления маршрутного расписания движения автобусов с использованием доступных программных инструментов.

Составление маршрутных расписаний движения автобусов весьма трудоемкий процесс. Вручную на составление одного варианта расписания требуется до 5 рабочих дней высококвалифицированного труда. На каждый автобусный маршрут ежегодно требуется составить до 15 вариантов расписаний. Связано это с изменениями пассажиропотоков по дням недели, месяцам и сезонам года, а также с изменениями условий движения автобуса по маршруту [1]. Кроме того, маршрутные расписания должны ежегодно подвергаться корректировке с учетом произошедших изменений эксплуатационных показателей и внешних воздействий на условия движения по маршруту [2]. Существует точка зрения, что в современных условиях в традиционном маршрутном расписании нет смысла, поскольку оно трудновыполнимо в городах с загруженной транспортными потоками дорожно-уличной сетью [3]. Однако в России насчитывается примерно 750 малых городов с численностью населения до 50 тысяч человек – что составляет 3/4 от всех российских городов, многие из них находятся в Сибири и на Дальнем Востоке. Эти города, как правило, обслуживаются малыми пассажирскими автотранспортными предприятиями (ПАТП) и на их улицах могут быть не столь напряженные условия дорожного движения, как в крупных областных центрах.

Для малых ПАТП, не обладающих существенными финансовыми ресурсами, критически важно создание и использование обоснованных расписаний движения маршрутного транспорта, которые позволяют оптимизировать количество и структуру парка подвижного состава при заданном объеме и качестве перевозок [4]. При этом обеспечивается приемлемое расписание рабочих смен водителей автобусов, что приводит к дополнительному снижению эксплуатационных затрат.

С развитием компьютерных технологий появилась возможность уйти от кропотливого ручного труда, перейти к автоматизированному составлению расписаний. Проблемой, возникающей на начальном этапе, является высокая стоимость специализированного программного обеспечения, предназначенного для составления маршрутных расписаний движения автобусов с помощью заданных алгоритмов и решений. Существует значительное

количество специализированных компьютерных программ, однако для малых ПАТП приобретение и постоянное использование таких компьютерных программ может оказаться не по средствам. Более того – покупка специализированного программного обеспечения для малого ПАТП лишена смысла в силу того, что такого рода программы разработаны и предназначены в первую очередь для крупных потребителей, осуществляющих эксплуатацию сотен автобусных маршрутов. Также для применения указанных компьютерных программ необходимы квалифицированные кадры и выполнение жестких требований к мониторингу и поддержке баз данных, их привязке к географической информационной системе (GIS).

Решение этой проблемы находится в сфере кооперации малых ПАТП в вопросе построения расписаний при помощи простых инструментов, основанных на применении Excel и Visual Basic макросов (программных алгоритмов действий), встроенных в стандартный Microsoft Office, а также совместного ведения баз данных в удаленном сервере, эксплуатируемом специализированным предприятием с возможностью связи с данным сервером через сеть Интернет (рисунок 1).

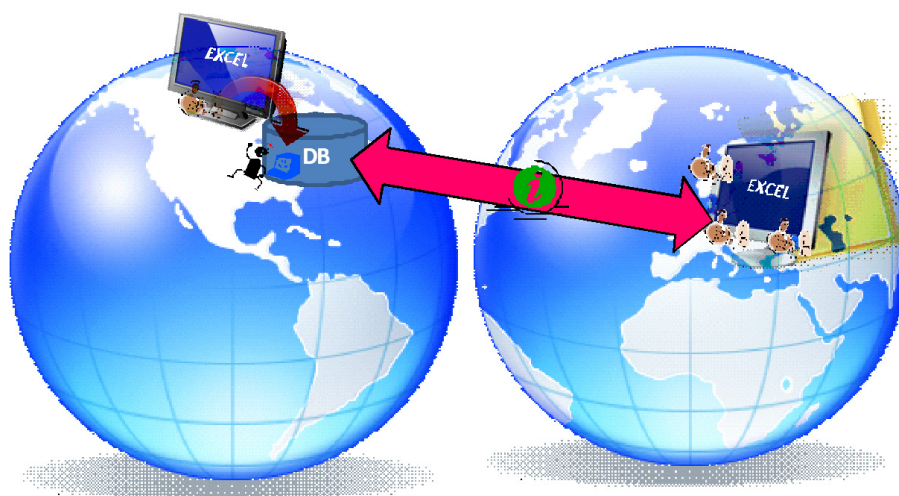


Рисунок 1 – Условное направление обмена информацией между пользователем и удаленным сервером

В качестве примера подобного решения проблемы может быть рассмотрена разработанная авторами система `GTPi@pping`, являющаяся интерактивным программным обеспечением предоставления услуг для достижения следующих целей: планирование системы фиксированных автобусных маршрутов; обслуживание, поддержка и предоставление ПАТП баз данных, необходимых для выполнения работ по планированию; разработка и анализ расписания сети автобусных маршрутов; построение и анализ рабочих смен водителей; подготовка всей необходимой эксплуатационной документации для выбранного расписания; обеспечение всестороннего анализа транспортно-планировочных решений для территории, обслуживаемой данным ПАТП.

Системой обеспечивается доступ в режиме онлайн к сохраненной сетевой базе данных и к интерактивному интерфейсу для использования данных. Для хранения базы данных используется система управления базами данных (СУБД), разработанная корпорацией Microsoft для удаленного сервера MS SQL, с обновляемыми технологиями и с реализацией программной платформы .NET Framework и технологией ASP.NET для базы данных системы мониторинга, которая может быть доступна 24 ч в сутки с любого компьютера с доступом в Интернет. Любые табличные данные могут быть преобразованы и экспортированы в файл Excel с удаленной базы данных. Пользователи работают только с приложением Excel и соединяются с базой данных через Интернет только для загрузки и сохранения соответствующих данных.

Структурно система состоит из следующих модулей:

– Модуль «База данных» (рисунок 2), в который включены: системная база данных (список ПАТП; типы расписаний; распределение расписаний по датам; типы и размеры подвижного состава); географическая база данных (районы планирования; типы остановочных пунктов пассажирского транспорта; список остановочных пунктов с их характеристиками, адресами и координатами; типы и категории маршрутов; список маршрутов с кодами конечных

остановочных пунктов; время пробега подвижного состава на маршруте и т.д.); база данных расписаний.

Table SYS-3

Day Type		Yes		Yes		2011		31/07/2014		from		7		31	
No	Day Type ID	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type	Day Type
	1	Будний день													
	2	Суббота													
	3	Воскресенье													
	4	Пятница													

01/08/2014	02/08/2014	03/08/2014	04/08/2014	05/08/2014	06/08/2014	07/08/2014	08/08/2014	09/08/2014	10/08/2014	11/08/2014
2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014
Август	Август	Август	Август	Август	Август	Август	Август	Август	Август	Август
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПТ	СБ	ВС	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	ВС	ПН

Рисунок 2 – Пример одного из интерфейсов модуля «База данных»

– Модуль разработки расписания (рисунок 3). Этот модуль обеспечивает выполнение следующих функций: двусторонняя связь с базой данных (загрузка и сохранение выбранных данных); создание требуемых расписаний для выбранной группы маршрутов; ручная и автоматизированная правка рабочего времени автобусных бригад и рабочих смен водителей (без нулевых и холостых пробегов).

Me	Alt	Dir	Origin	Destination	Departure	Duration	Arrival	Block	After		
201-0-1	201	1	10	Park Place	2	Georgian College	5:30	0:40	6:10	1	
201-0-2	201	2	2	Georgian College	10	Park Place	6:15	0:44	6:59	1	
201-0-1	201	1	10	Park Place	2	Georgian College	7:00	0:44	7:44	1	
201-0-2	201	2	2	Georgian College	10	Park Place	7:45	0:44	8:29	1	
201-0-1	201	1	10	Park Place	2	Georgian College	8:30	0:40	9:10	1	
201-0-2	201	2	2	Georgian College	10	Park Place	9:15	0:40	9:55	1	
201-0-1	201	1	10	Park Place	2	Georgian College	10:00	0:40	10:40	1	
201-0-2	201	2	2	Georgian College	10	Park Place	10:45	0:40	11:25	1	
201-0-1	201	1	10	Park Place	2	Georgian College	11:30	0:40	12:10	1	
201-0-2	201	2	2	Georgian College	10	Park Place	12:15	0:40	12:55	1	
201-0-1	201	1	10	Park Place	2	Georgian College	6:00	0:44	6:44	2	
201-0-2	201	2	2	Georgian College	10	Park Place	6:45	0:44	7:29	2	
201-0-1	201	1	10	Park Place	2	Georgian College	7:30	0:44	8:14	2	
201-0-2	201	2	2	Georgian College	10	Park Place	8:15	0:40	8:55	2	
201-0-1	201	1	10	Park Place	2	Georgian College	9:00	0:40	9:40	2	

Рисунок 3 – Пример одного из интерфейсов модуля разработки расписаний

– Модуль построения автобусных и водительских выходов (рисунок 4), учитывающий нулевые и холостые пробеги в случае перевода автобуса с одного маршрута на другой в течение рабочего дня.

– Модуль анализа планировочных решений, осуществляющий следующие функции: анализ расписания на каждый маршрут; анализ текущего состояния на каждом маршруте; анализ расписания в каждой точке маршрута; часы работы автобусов; общие эксплуатационные данные; данные о потребности в водителях.

– Модуль подготовки эксплуатационной документации. Этот модуль автоматически создает все необходимые документы (его содержание определяется самим ПАТП) для осуществления эксплуатационной деятельности, например расписание рабочих смен водителей автобусов.

1	2x	18P-01	18P-02	18P-01	18P-02	18P-01	18P-02	18P-01	18P-02	18P-01	18P-02	18P-01	18P-02	18P-01	18P-02	18P-01	18P-02	18P-01	18P-02	18P-01	18P-02	
2	2x																					
3	2x																					
4	2x																					
5	2x																					
6	разрыв																					
7	2x																					
8	2x																					
9	разрыв																					
10	2x																					
11	700																					
12	2x																					
13	2x																					
14	2x																					
15	разрыв																					

Рисунок 4 – Фрагмент графического изображения выходов водителей по сменам

Все оперативные компоненты и базы данных системы защищены логинами учетных за-

писей пользователей системы, обеспечивая необходимую безопасность при сохранении и использовании информации. Также предусмотрены различные учетные записи пользователей, имеющих разный уровень доступа к базе данных и к различным модулям.

Не вызывает сомнений, что интерактивная сетевая автоматизация составления обоснованных маршрутных расписаний движения автобусов является одним из важнейших способов выживания малых ПАТП в условиях острой конкуренции за ограниченные финансовые ресурсы. Она позволяет сократить ненужные расходы, а также приводит к улучшению качества обслуживания пассажиров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Антошвили, М.Е. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ / М.Е. Антошвили, Г.А. Варелопуло, М.В. Хрущев. -Москва: Транспорт, 1974. -104 с.
- 2 Спирин, И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник / И.В. Спирин. -5-е изд., перераб. -Москва: Академия, 2010. -400 с.
- 3 Гуревич, Г.А. Место маршрутного расписания в текущем планировании работы ГОПТ / А.Г. Гуревич // Сборник докладов по материалам XIX международной научно -практической конференции «Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния», 16-17 июня 2013 г. -Екатеринбург, 2013. -С. 336-345.
- 4 Морозов, А.С. Формирование городской транспортной политики на основе расчёта объективных показателей качества перевозок / А.С. Морозов, Г.В. Таубкин, А.А. Черников // Трансп. Рос. Федерации. -2014. -№ 4 (53). -С. 54-59.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *маршрутное расписание движения, планирование, пассажиропоток*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Таубкин Георгий Владимирович, ведущий специалист WSP Global Inc
Коптелов Олег Германович, научный сотрудник ФГБОУ ВО «МАДИ»
Быкова Галина Павловна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «МАДИ»
1300 Янг-стрит, 8-й этаж Торонто, Онтарио, М4Т 1Х3 Канада, WSP Global Inc*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *125319, г.Москва, ул.Ленинградский проспект, 64, ФГБОУ ВО «МАДИ»*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»

Д.О. Никитенко

ECONOMETRIC FORECASTING RESULTS OF RUSSIAN GENERAL AVIATION DEVELOPMENT
Saint Petersburg state university of civil aviation
D.O. Nikitenko

Forecasting of development of general aviation in Russia is complicated by a complex set of factors influencing the pace of its development. Prediction results based on the search for statistical relationships between the parameters of the process of development of general aviation in Russia, justify the use of such an approach.

Keywords: predictor, econometric approach, expert evaluation, correlation analysis, artificial neural networks

Прогнозирование развития авиации общего назначения в России осложняется сложным набором факторов, оказывающих влияние на темпы ее развития. Результаты прогнозирования, основанного на поиске статистических взаимосвязей между параметрами процесса развития авиации общего назначения России, оправдывают применение подобного подхода.

Сегодня авиация общего назначения (АОН) достаточно популярна во всем мире. Однако, в зависимости от различных факторов, уровень развития АОН в каждой из этих стран различна.

На данный момент развивающийся рынок АОН России подвержен воздействию сложного комплекса факторов, что делает тенденцию его развития, постоянно изменяющуюся в ответ на эволюции данных факторов, трудно предсказуемой без применения специальных современных методов прогнозирования.

В первом приближении индикатором развития АОН является развитие численного состава ее парка воздушных судов. Речь в данном случае идет не о потребном парке, а именно о фактическом его приросте. Прогнозы развития фактического парка воздушных судов (ВС) АОН России при планировании развития АОН России во внимание не принимаются. Уже существуют некоторые наработки по теме разработки методики развития численного состава парка ВС АОН России. В частности в [1, 2] предлагается с помощью метода корреляционного анализа отобрать из числа экономико-географических показателей (ЭГП) России предполагаемые предикторы, прогностические параметры, развития численного состава парка ВС АОН России. Затем, на основе статистических данных об изменении предикторов

и численного состава парка ВС АОН разрабатывается регрессионная модель развития численного состава парка ВС АОН России, с помощью которой и производится прогнозирование. Смысл такого эконометрического подхода состоит в установлении статистических связей между изучаемым показателем, влияющими на него факторами и построением соответствующих моделей [3].

Выбор предикторов развития численного состава парка ВС АОН России из числа ЭГП, осуществленный в [1, 2] – сложнейшая задача, так как на сегодняшний день не имеется четкого представления о наборе факторов, оказывающих решающее влияние на развитие численного состава парка ВС АОН России. В силу очевидной комплексности совокупности этих факторов, задача выбора тех из них, которые оказывают решающее влияние на развитие численного состава парка ВС АОН России, является математически трудноформализуемой, а значит затратной. Для анализа объектов и проблем, развитие которых либо полностью, либо частично не поддается математической формализации, используются методы экспертных оценок [4].

Использование метода экспертных оценок для отбора предположительных групп предикторов развития численного состава парка ВС АОН России рассмотрено в [5].

По мнению группы экспертов, наибольшее влияние на развитие численного состава парка воздушных судов авиации общего назначения России оказывают следующие группы экономико-географических показателей (предполагаемых предикторов):

- №2, уровень жизни (вес группы 0,07, точечная оценка 7,59);
- №27, финансы (вес группы 0,06, точечная оценка 7,55).

Проверка наличия реальных причинно-следственных связей между численным составом парка ВС АОН России и отобранными его предполагаемыми предикторами является сложнейшей задачей, так как она охватывает множество экономических и других различного рода процессов, а также процессы их взаимодействия. Решение такой задачи потребует значительных материальных, временных и трудовых затрат, при этом получить результаты высокой точности будет крайне сложно в силу наличия множества скрытых и трудно выявляемых процессов взаимодействия между анализируемыми показателями. Статистические данные представленных предположительных предикторов лишены сложных глубинных процессов взаимодействия, которыми они обладают в реальной жизни, в них присутствует лишь один вид взаимосвязи, статистическая взаимосвязь. Поэтому, очевидно, процесс анализа таких взаимосвязей, реализуемый лишь с привлечением статистических данных об анализируемых показателях, будет значительно упрощен.

Для определения силы статистической взаимосвязи между переменными применяется метод корреляционного анализа. Использование данного метода для анализа предикторов развития парка ВС АОН России рассмотрено в [1, 6].

Корреляционный анализ позволил однозначно выявить именно те предикторы развития численного парка ВС АОН России, которые можно использовать для дальнейших расчетов. К ним относятся предикторы под номерами баланс денежных доходов и расходов населения (доходы от собственности), кредиторская задолженность организаций (без субъектов малого предпринимательства) Российской Федерации, исполнение бюджета Фонда социального страхования Российской Федерации, объем прибыли/убытков, полученных действующими кредитными организациями. Все они относятся к группе предикторов под названием «Финансы». Таким образом, задача проверки результатов экспертного анализа выполнена успешно, его результаты уточнены, а выборка предикторов развития численного состава парка ВС АОН России сформирована.

В случаях если: имеются ежегодные данные официальных источников; прогнозы не адаптируются с поступлением новых данных (одноразовые прогнозы); прогноз осуществляется для временного ряда относительно малой длины; прогнозируется динамика не отдельного объекта, а процесса имеющего общую природу; целесообразно применение среднесрочного прогнозирования. Практически единственным методом построения среднесрочных прогнозов является метод регрессионного анализа [7].

Регрессионный анализ наиболее широко используется при прогнозировании для задач гражданской авиации [8]. Применение метода регрессионного анализа для прогнозирования развития численного состава парка ВС АОН России рассмотрено в [1, 2, 9].

Жесткие статистические предложения о свойствах временных рядов ограничивают возможности методов математической статистики, теории распознавания образов, теории случайных процессов и т.п. Многие реальные процессы не могут адекватно быть описаны с по-

мощью традиционных статистических моделей, в силу своей сложности, нелинейности, смешанной основы (имеют либо хаотическую, либо квазипериодическую, либо смешанную основу: стохастика+хаос-динамика+детерминизм) [10]. Строить прогнозную модель системы, принимая во внимание всю сложнейшую структуру различного вида процессов взаимодействия ее элементов невозможно в силу чрезвычайной трудности одновременного охвата и адекватной оценки данных процессов взаимодействия различной природы. Уходя от процессов взаимодействия анализируемых показателей, мы получаем в наличии лишь результаты их взаимодействия, на основе которых значительно проще построить модель.

Моделью, самообучающейся на готовых примерах (результатах), не требующей глубокого знания физики процессов, их реализовавших, является искусственная нейронная сеть. Обученная нейронная сеть получает способность предсказать неизвестный результат при известных его предпосылках. В этом и заключается прогнозирование неизвестного значения зависимой переменной по известному значению ее предиктора (предикторов).

Решение задач с использованием метода нейронных сетей состоит из следующих этапов [11]:

- отбор, подготовка и нормализация входных данных;
- экспериментальный выбор структуры сети и параметров обучения;
- обучение сети;
- тестирование сети, проверка адекватности обучения, корректировка параметров обучения и структуры сети;
- производство результатов обученной сетью.

Использование метода ИНС для прогнозирования развития численного состава парка ВС АОН России рассмотрено в [12, 13]. Если сравнить средние ошибки аппроксимации уравнения регрессии 10,1% и нейронной сети 4,22%, становится очевидным, что точность аппроксимации нейронной сети значительно выше, чем точность аппроксимации построенного уравнения регрессии.

При сравнении значений точности предсказания нейронной сети (5,28%) и уравнения регрессии (14,92%) видно, что точность предсказания нейронной сети на порядок выше точности предсказания уравнения регрессии.

Чтобы убедиться в правильности выбора комбинации методов экспертных оценок, корреляционного анализа и ИНС для прогнозирования развития численного состава парка ВС АОН России, данная комбинация методов применена для прогнозирования развития численного состава парка ВС АОН другой страны за прошедший период. Для этого выбрана Бразилия, как наиболее близкая по совокупности признаков к России [1]. Прогнозирование развития численного состава парка ВС АОН Бразилии рассмотрено в [14]. Результаты прогнозирования развития численного состава парка ВС АОН Бразилии с использованием предложенной комбинации методов показали высокую эффективность данной методики прогнозирования [14]. Поэтому методика может быть использована для среднесрочного прогнозирования развития численного состава парка ВС АОН России. Реальные данные за 2013 год удалось получить от ФАВТ задолго после построения приведенного выше прогноза. Реальные, прогнозные данные и ошибки прогнозных данных приведены в таблице.

Как видно из таблицы, прогнозные данные по всем четырем категориям воздушных судов авиации общего назначения России попадают в допуск 5-8%, приведенный в [15], и в допуск 10-12%, приведенный в [16]. Это говорит об адекватности примененных комбинации методов и методики. Перспективным направлением исследований является прогнозирование появления новых типов воздушных судов авиации общего назначения в реестре гражданских воздушных судов России. Не исключено также, что использование таких статистических данных в процессе прогнозирования развития численного состава парка воздушных судов авиации общего назначения России с использованием предложенной методики повысит точность прогнозирования.

Таблица – Реальные, прогнозные данные и ошибки прогнозных данных за 2013 год

Состав парка ВС	Реальные данные	Прогнозные данные	Ошибка
Самолеты бизнес-класса	42	44	4,76%
Легкие самолеты	330	346	4,85%
Газотурбинные вертолеты	195	208	6,67%
Поршневые вертолеты	312	320	2,56%

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Арасланов, С.А. Нетуманные перспективы / С.А. Арасланов // *Авиация общ. назначения*. -2010. -№ 7. -С. 4.
- 2 Арасланов, С.А. Перспективы и реальность / с.А. Арасланов, Ю. Щербак // *Авиация общ. назначения*. -2012. -№ 8. -С. 6.
- 3 Методы и модели среднесрочного и долгосрочного прогнозирования энергетического объединения [Электронный ресурс] : информ. портал. -Режим доступа: <http://www.anastasia-myskina.ru/ekonomika/uprobekt/46/4016-4-3-metody-i-modeli-srednesrochnogo-i-dolgosrochnogo-prognozirovaniya-energeticheskogo-obedineniya.htm>.
- 4 Тихонов, Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учеб. пособие / Э.Е. Тихонов. -Невинномысск, 2006. -221 с.
- 5 Никитенко, Д.О. Методика прогнозирования изменения состава парка воздушных судов авиации общего назначения России / Д.О. Никитенко // *Соврем. наукоемкие технологии*. -2014. -№ 1. -С. 95.
- 6 Никитенко, Д.О. Методика краткосрочного прогнозирования изменения парков различных видов воздушных судов авиации общего назначения России / Д.О. Никитенко // *Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока*. -2013. -№ 2. -С. 9.
- 7 Льюис, К.Д. Методы прогнозирования экономических показателей / К.Д. Льюис; пер. с англ. и предисл. Е.З. Деминенко. -Москва: Финансы и статистика, 1986. -133 с.
- 8 Андронов, А.М. Прогнозирование развития транспортной системы региона / А.М. Андронов, А.Н. Киселенко, Е.В. Мостивенко. — Сыктывкар: КНЦ УрО РАН, 1991. — 178 с.
- 9 Никитенко, Д.О. Регрессионная модель развития парка воздушных судов авиации общего назначения / Д.О. Никитенко // *Науч. обозрение*. — 2014. — № 7. -С. 448
- 10 Бодянский, Е.В. Диагностика и прогнозирование временных рядов многослойной радиально-базисной нейронной сети / Е.В. Бодянский, Е.И. Кучеренко // *Труды VIII Всероссийской конференции «Нейрокомпьютеры и их применение»*. -2002. -С. 69.
- 11 Бессмертный, И.А. Искусственный интеллект: учеб. пособие / И.А. Бессмертный. -Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. -132 с.
- 12 Никитенко, Д.О. АОН в нейронных сетях / Д.О. Никитенко // *Авиация общ. назначения*. -2012. -№ 5. -С. 44.
- 13 Никитенко, Д.О. Методика построения прогноза развития авиации общего назначения в Российской Федерации с использованием искусственных нейронных сетей / Д.О. Никитенко // *Системы. Методы. Технологии*. -2013. -№ 4 (20). -С. 88.
- 14 Никитенко, Д.О. Прогнозирование развития парка воздушных судов авиации общего назначения / Д.О. Никитенко // *Науч. обозрение*. -2014. -№ 6. -С. 388.
- 15 Савицкая, Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учеб. пособие / Г. В. Савицкая. -Минск: Новое знание, 2002. -704 с.
- 16 Средняя ошибка аппроксимации [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://ekonometred.ru/bilety-k-ekzamenu-ekonometrika/56-srednyaya-oshibka-approksimacii.html>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *предиктор, эконометрический подход, экспертные оценки, корреляционный анализ, искусственные нейронные сети*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Никитенко Дмитрий Олегович, соискатель ФГБОУ ВПО «СПбГУ ГА»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *196210, г.Санкт-Петербург, ул.Пилотов, 38, ФГБОУ ВПО «СПбГУ ГА»*

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ «КРЕСТ БЕЗОПАСНОСТИ»

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.Л. Павлова, М.Г. Рублев

RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE METHODOLOGY FOR ASSESSING PROFESSIONAL RISKS «CROSS SECURITY»
Siberian state transport university
V.L. Pavlova, M.G. Rublev

In this research article examines the development of modern risk assessment techniques on the example introduced at some enterprises of the railway transport methods for the assessment of occupational risk «Cross security».

Keywords: professional risks, railway transport, safety, severity of injury, interactive form, efficiency

Рассматривается вопрос совершенствования современных методов оценки риска на примере внедренной на некоторых предприятиях железнодорожного транспорта методики оценки профессионального риска «Крест безопасности».

Железная дорога, как и любое производство – это большой комплекс сложных и многофункциональных технических систем. По данным на 2014 г. его обслуживают около 1 млн. человек, ежедневно так или иначе подвергающихся воздействию опасных и вредных производственных факторов (ОиВПФ). Поэтому защите персонала на железной дороге уделяется особое внимание, которое выражается во внедрении новых методов оценки профессиональных рисков. Серьезное развитие получают научные исследования в области охраны труда.

В настоящее время на предприятиях ОАО «РЖД» внедряется методика оценки профессиональных рисков «Крест безопасности» [1]. Для определения эффективности применения методики в подразделениях Западно-Сибирской железной дороги, сотрудниками кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Сибирского государственного университета путей сообщения по заданию отдела охраны труда и промышленной безопасности дороги были детально изучены положения внедряемой методики и предложены рекомендации по ее со-

вершенствованию.

На первом этапе был выполнен анализ методов, применяемых в настоящее время для оценки профессиональных рисков в системе управления охраной труда (СУОТ) на железнодорожном транспорте (таблица 1).

Таблица 1 – Анализ методов оценки профессиональных рисков, применяемых в СУОТ

Методика	Характеристика
Аттестация рабочих мест по условиям труда (применялась до 01.2014 г.)	Методика расчетов основана на присвоении классов условий труда по принципу «доза-время-эффект»
Оценки травмобезопасности рабочих мест	Анализ рабочих мест с определением факторов травмирования
Периодические медицинские осмотры	Выявление ответных реакций организма на воздействие ОиВПФ
Статистическая информация о травматизме и заболеваемости	Анализ информации в период от 5 до 10 лет на количество работающих 5-10 тыс. чел.
Экспертные методы оценки условий труда	Анализ рисков проводится специалистом с высоким уровнем знаний и многолетним опытом работы в данной области
Специальная оценка условий труда (введена 01.2014 г.)	Комплекс мероприятий по идентификации и оценке уровня воздействия ОиВПФ на работника с учетом их отклонений от установленных значений

Все эти методы используются для оценки уровня безопасности труда отдельно и в совокупности друг с другом, имеют свои преимущества и недостатки и в определенной части перекликаются с внедряемой методикой «Крест безопасности». Необходимо отметить, что явных противоречий со всеми этими методами оценки у данной методики не наблюдается.

На следующем этапе был осуществлен анализ непосредственно методики «Крест безопасности». Своим названием данная методика обязана результативной визуализацией в виде крестообразной формы, на которой указаны дни месяца и отработанные смены. При этом каждая ячейка (день, смена) креста маркируется цветом в зависимости от уровня безопасности на текущий момент. Для определения уровня производственного риска создается рабочая группа, состоящая из главного инженера, инженера по охране труда, начальника пункта технического обслуживания, мастера участка, специалиста, место которого подвергается оценке. Указанная группа проводит оценку и измерение рисков, результаты которого заносят в стандартный бланк (таблица 2).

Таблица 2 – Бланк данных для оценки профессиональных рисков

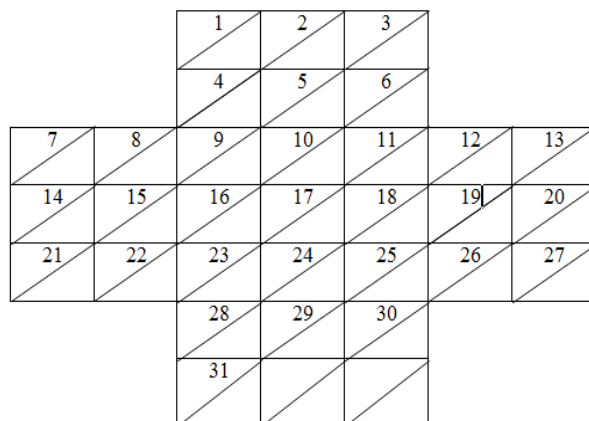
1	Описание опасных ситуаций (причина риска)
2	Риски (последствия несоблюдения правил безопасности)
3	Серьезность (согласно таблице 1 Методики)
4	Вероятность (согласно таблице 2 Методики)
5	Уровень класса риска (ст. 3 × ст. 4)
6	Класс риска (согласно таблице 3 Методики)
7	Существующие средства предупреждения
8	Существующий коэффициент предотвращения (согласно таблице 4 Методики)
9	Уровень риска после предотвращения (ст. 5 × ст. 8)
10	Класс риска после предотвращения (согласно таблице 3 Методики)
11	Дополнительные мероприятия (разрабатываются на производственных участках линейных предприятий с учетом местных условий)

После сбора и анализа материала создаются визуальные стандарты для наглядного представления информации по рискам и их систематическому контролю. Кроме того, составляется таблица несчастных случаев и происшествий «Крест безопасности» (рисунок).

Данную форму помещают на стенде по охране труда и заполняют каждую смену: в дневную – мастером, в ночную – бригадиром или старшим смены. У бланка есть обратная сторона в виде таблицы, где фиксируются отклонения по охране труда, по результатам которых составляются мероприятия по устранению выявленных отклонений. Каждое отклонение имеет свою степень тяжести, и в зависимости от нее ячейки креста закрашиваются в соответствующие цвета: красный – воздействие опасности, желтый – предупреждение, зеленый – без происшествий. По окончании месяца форма «Крест безопасности» сдается инженеру по охране труда, который в свою очередь выдает мастеру участка новый бланк на сле-

дующий месяц.

Анализ внедряемой методики показал некоторые ее недостатки. Во-первых, в ходе определения уровня производственного риска для заполнения стандартного бланка (таблица 2) используется одна из градаций тяжести травмы – «не наносящая вреда здоровью», что противоречит самому понятию «травма». Во-вторых, вызывает сомнение принятая градация уровня риска от 0-200 баллов. Балльная единица измерения уровня риска в практической плоскости затрудняет оценку, потому что уровень риска согласно научным требованиям измеряется как вероятность от 0-1 [2]. В-третьих, как отмечают работники, ежедневное заполнение бланков вручную достаточно трудоёмко и отвлекает от трудового процесса.



Дата, время проверки	ФИО лица, выявившего нарушение	Выявленное нарушение	ФИО нарушителя	Принятые оперативные меры	Отметка о выполнении

Рисунок – Крест безопасности

Для устранения выявленных недостатков предлагается:

– характеристику «не наносящая вреда здоровью» заменить на «ухудшение самочувствия», что, безусловно, будет коррелировать с остальными степенями тяжести травмы. Помимо этого, степень воздействия вредных факторов может быть различна и зависит от целого ряда причин, и, в связи с этим, предлагается конкретизировать графу «средняя», в которой максимально учтены все варианты развития событий опасных ситуаций, спровоцированных наличием ОиВПФ. После конкретизации таблица примет следующий вид (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика степени тяжести травмы и профессионального заболевания

Величина	Характеристика уровня	
20 (тяжелая)	Смерть, смертельное ранение, тяжелое ранение, заболевание, ведущее к постоянной нетрудоспособности, инвалидности	
Средняя	10	Ранение, профессиональное заболевание, вызывающее остановку в работе, временную нетрудоспособность (>5 рабочих дней)
	8	Ранение, профессиональное заболевание, вызывающее остановку в работе, временную нетрудоспособность (2-5 рабочих дней включительно)
	6	Ранение или такое состояние работника, которое повлекло медицинское вмешательство и временную нетрудоспособность (<2 дней)
2 (ухудшение самочувствия)	Недомогания, требующие перерыва в работе не более 30 минут	

– принятую градацию уровня производственного риска (от 0-200 баллов) предлагаем перевести в долевую оценку (таблица 4).

– по общему мнению экспертов требуется перевод данной методики в интерактивную форму (на крупнодиагональный планшет, экран монитора компьютера), что позволит: избежать накопления большого количества бумажных копий; передавать информацию по запол-

нению «Креста» инженеру по охране труда в режиме онлайн; знакомиться с картами риска на участке без отрыва от производства; ввести многоуровневую систему управления безопасностью труда; входить в систему через логин и пароль (отсутствие бесконтрольного заполнения креста безопасности).

Учитывая изложенное, внедрение методики оценки профессиональных рисков «Крест безопасности» в практическую деятельность железных дорог позволит более оперативно устранять недостатки в обеспечении безопасности труда; наглядно отображать состояние охраны

Таблица 4 – Эквивалентная оценка уровня производственного риска

Используемая в методике градация, баллы	Предлагаемая градация, доли	Оценка уровня производственного риска
0-10	$1 \cdot 10^{-8}$	Низкий (допустимый)
10-50	$1 \cdot 10^{-6}$	Низкий (допустимый)
50-70	$1 \cdot 10^{-5}$	Средний (переходный)
70-100	$1 \cdot 10^{-4}$	Средний (переходный)
100-150	$1 \cdot 10^{-3}$	Высокий (недопустимый)
150-200	$1 \cdot 10^{-2}$	Высокий (недопустимый)

труда на рабочих местах (на каждом участке работ применяются визуальные стандарты); создать атмосферу нетерпимости, даже к самым незначительным нарушениям; повысить ответственность руководителей за нарушение правил безопасности труда (визуальные стандарты находятся на виду у каждого работника производственного участка).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 О внедрении визуализированной информации «Крест безопасности» в подразделениях службы вагонного хозяйства Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры» и в целях принятия дополнительных мер, направленных на профилактику производственного травматизма, визуализации вопросов состояния охраны: распоряжение начальника Зап.-Сиб. ж. д. № В/ 1149 от 28 нояб. 2012 г.

2 Белов, с.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) / С.В. Белов. - Москва: Юрайт, 2010. -682 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: профессиональные риски, железнодорожный транспорт, охрана труда, тяжесть повреждения здоровья, интерактивная форма, эффективность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Павлова Вера Львовна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Рублев Максим Григорьевич, канд. биол. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Е.А. Масленникова

PRACTICAL APPLICATION OF MANAGEMENT ACCOUNTING SHIPPING COMPANIES
Siberian state university of water transport
E.A. Maslennikova

The place of management accounting in enterprises of water transport in modern conditions. The features of financial and management accounting in water transport, identified the subject and object of management accounting, clarifying its principles, highlights the main problems with its implementation in practice of shipping companies. The order of the flow of information in the process of accounting and analytical support to control water transport enterprises.

Keywords: water transport, management accounts, budgeting

Определено место управленческого учета на предприятиях водного транспорта в современных условиях. Показаны особенности финансового и управленческого учета на водном транспорте, выявлены предмет и объект управленческого учета, уточнены его принципы, выделены основные проблемы при его внедрении в практику судоходных компаний. Определен порядок движения информации в процессе учетно-аналитического обеспечения управления на предприятиях водного транспорта.

В настоящее время российская экономика оказалась перед системным вызовом, характер и качество которого определяются сочетанием трех фундаментальных факторов.

Первый фактор – усиление глобальной конкуренции, охватывающей рынки товаров, услуг, капитала, и других факторов экономического роста. Началась структурная перестройка мирового хозяйства, связанная с изменением баланса между экономическими центрами, возрастанием роли региональных экономических союзов, ожидаемым распространением

новых технологий. Это повлечет за собой изменение национальных и мировых грузо- и пассажиропотоков, рост требований к качеству транспортного обслуживания.

Второй фактор – возрастание роли человеческого капитала в социально-экономическом развитии. Уровень конкурентоспособности современной инновационной экономики все в большей степени определяется качеством профессиональных кадров. Это в полной мере относится и к транспорту как отрасли, встающей на путь инновационного развития.

Третий фактор – исчерпание источников экспортно-сырьевого типа развития, базирующихся на интенсивном наращивании топливного и сырьевого экспорта.

Одновременно в России появились существенные ограничения роста экономики, обусловленные недостаточным развитием транспортной системы. Сегодняшние объемные и качественные характеристики транспорта, особенно его инфраструктуры, не позволяют в полной мере и эффективно решать задачи растущей экономики.

Все это требует от российского транспорта существенной перестройки.

В современных условиях хорошо разработанный управленческий учет является одним из важнейших условий, позволяющий руководству предприятия принимать правильные решения, что в результате расширяет экономические связи между субъектами хозяйствования, и, как правило, ведет к нормальному функционированию и развитию предприятия. Это относится и к предприятиям в сфере водного транспорта, где в последнее время особенно возросла функция управления организацией. Реализацию данной функции обеспечивает управленческий учет, задачей которого является составление отчетов второй и третьей группы. Именно эти отчеты являются информационным фундаментом, который позволяет оптимизировать процесс управления компанией.

На предприятиях водного транспорта текущий финансовый учет необходимо строить на системе бюджетирования, формируя бюджеты доходов и расходов, и движения денежных средств. Такая отчетность позволит учитывать и контролировать исполнение бюджетов, анализируя плановые и фактические показатели.

Для оценки деятельности отдельных Центров финансовой ответственности – ЦФО (администрация, службы, грузовые перевозки, пассажирские переправы, аренда судов, перегрузочные работы, русловая добыча и т.д.) необходимо применять различные формы отчетности. Для ЦФО, отвечающих за получение доходов, определить форму, позволяющую контролировать и учитывать объем продаж, каналы сбыта, размер дебиторской задолженности, валовую прибыль. В форме отчетности для центров затрат необходимо отражать объем и стоимость полученных услуг, работ, израсходованных материалов, имущественных актов.

Кроме того, необходимо проверить анализ дебиторской задолженности и определить ее норму в расчете на каждого покупателя. Контроль за дебиторской задолженностью удобнее выделить в отдельный отчет.

Управленческую отчетность необходимо составлять не реже одного раза в месяц.

В каких-то элементах управленческая отчетность совпадает с бухгалтерской, но она в большей степени детализирована. В ней представляется подробная аналитическая информация. От бухгалтерской отчетности могут отличаться и способы группировки данных, степень точности информации.

При формировании управленческой отчетности на предприятиях водного транспорта не редко возникают проблемы. Одну из основных можно описать следующим образом: как учитывать факторы, информация по которым поступила с опозданием? Можно предложить такое решение:

Информация, пришедшая с опозданием, фиксируется в бухгалтерском учете по дате ее возникновения, то есть по дате документа. В управленческом учете информация фиксируется на дату ее поступления.

Это позволит провести анализ финансовой деятельности (на основе бухгалтерского учета) и оперативно принять решение (на основе управленческого учета). Управленческий учет в этом случае направлен на текущее управление, а правильно поставленный бухгалтерский учет - проводить анализ деятельности в полном объеме.

В условиях жесткой конкуренции, экономического кризиса судоходные компании внутреннего водного транспорта находятся в тяжелом положении. Успех управленческих решений во многом зависит от согласованности хозяйствующих субъектов. Именно управленческий учет в таких не простых условиях позволит:

– эффективно прогнозировать и планировать доходы, затраты и результаты деятельности с учетом заданных целей стратегического развития предприятий водного транспорта;

- оценить и дополнить существующие методики управления;
- повысить эффективность управления путем применения соответствующих показателей и методик их формирования.

Таким образом, сформулированная методика учета может упростить жизнь транспортникам, и в первую очередь судоходным компаниям, устранив имеющиеся трудности в области контроля и принятия правильных управленческих решений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *водный транспорт, управленческий учет, бюджетирование*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Масленникова Елена Алексеевна, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ВНЕДРЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ ЗАТРАТАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Л.Н. Аршба, Р.В. Головащенко

ADOPTION OF MANAGEMENT TOOLS FOR OVERHEAD COSTS IN THE RAILWAY INDUSTRY

Siberian state transport university

L.N. Arshba, R.V. Golovashchenko

The paper gives analysis of the results of the adoption of the cost management system related to unproductive losses of locomotive crews labour hours by responsibility centres and cost reimbursement. The instruments for further development of the system are proposed.

Keywords: overhead costs, unproductive losses of locomotive crews labour hours, cost management system, responsibility centres

Проанализированы результаты внедрения системы управления затратами, связанными с непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад по центрам ответственности, и их возмещения. Предложены инструменты для дальнейшего развития этой системы.

На фоне роста общехозяйственных расходов на железнодорожном транспорте остается актуальным вопрос о такой их составляющей, как непроизводительные затраты и потери.

Непроизводительными принято считать расходы, которые образуются при выполнении незапланированных действий. Они вызывают нарушение нормального перевозочного процесса, поэтому железными дорогами принимаются активные действия для их минимизации, а, возможно, и полной ликвидации.

Ликвидация группы «Непроизводительные расходы и потери» представляет собой важный резерв экономии и снижения себестоимости перевозок.

Номенклатура непроизводительных расходов включает в себя лишь расходы, образующиеся на стадии перевозок. В связи с этим учет непроизводительных затрат необходимо вести структурным подразделениям, являющимся виновниками простоев, аварий и т.п., что позволит осуществлять эффективный контроль за уровнем таких расходов по местам их возникновения и принимать меры, в том числе и экономические, по снижению и ликвидации потерь.

В статье «Экономические инструменты управления непроизводительными затратами по центрам ответственности» [1] авторами был проведен анализ одного из видов таких затрат, связанного с непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад и предложена система возмещения этих затрат по центрам ответственности. Постараемся проанализировать, что же из предложенных решений данной проблемы воплощено в жизнь в настоящее время.

Предложенная система управления непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад «Учет и контроль нерационального использования рабочего времени» нашла свое воплощение в «Положении об организации контроля за режимом рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад, обеспечении достоверного учета их работы», утвержденном в июле 2012 года распоряжением ОАО «РЖД».

Настоящее положение объединило в себе многие из предложенных решений и определило порядок действий должностных лиц и специалистов филиалов ОАО «РЖД» в части обеспечения рационального использования локомотивных бригад, недопущения нарушений режима их работы.

В этих целях:

- разработана классификация нарушений режима рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад по дирекциям тяги, региональным дирекциям управления движения, дирекциям по ремонту тягового подвижного состава и дирекциям инфраструктуры;
- определен порядок учета, контроля и расследования случаев нарушения режима рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад;
- установлен порядок рассматривания соблюдения режима рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад.

В части классификации нарушений установлен порядок отнесения ответственности за допущенные нарушения к определенной дирекции. Так за дирекцией тяги установлена ответственность за нарушение режима прохождения участков пути по вине локомотивной бригады, за региональной дирекцией по ремонту тягового подвижного состава – нарушения безопасности движения поездов из-за неисправности локомотива, дирекцией управления движением – ответственность за несвоевременное выполнение маневровой работы, работы по формированию поездов, а также неправильные действия поездных диспетчеров, за дирекцией инфраструктуры – нарушение технологии работы, связанной с технической неготовностью вагонов, региональными дирекциями по ремонту пути – нарушения, связанные с передержкой окон по ремонту пути, нерациональном использовании рабочего времени локомотивных бригад в хозяйственном движении.

В целях организации оперативной работы по своевременному устранению недостатков разработан «Порядок ведения учета и контроля рабочего времени локомотивных бригад».

В соответствии с данным порядком основным инструментом фиксирования нарушений является книга замечаний машиниста формы ТУ-137. В данной книге фиксируются 8 видов нарушений режима работы и отдыха локомотивной бригады.

Наряду с данной книгой существует ряд систем, помогающих фиксировать различные нарушения. В соответствии с данными вышеперечисленных систем возникающие случаи оперативно поступают в структурные подразделения железной дороги, дирекции тяги, региональной дирекции управления движением, региональной дирекции инфраструктуры, другие филиалы ОАО «РЖД». Руководители структурных подразделений, за которыми отнесены нарушения в организации работы и отдыха локомотивной бригады, обязаны в оперативном порядке расследовать все возникшие случаи нарушений, произвести разбор с привлечением причастных и принять незамедлительные меры.

В рассматриваемом положении также приведен порядок рассмотрения соблюдения режима рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад.

По итогам работы за истекший период данный порядок предусматривает предоставление аналитической записки Дирекцией тяги и Центральной дирекцией управления движением по вопросу организации работы локомотивных бригад к ежемесячным селекторным совещаниям, проводимым первым вице-президентом ОАО «РЖД» с участием профсоюзных организаций.

На железных дорогах в свою очередь первыми заместителями начальников железных дорог, начальниками дирекций тяги заслушиваются отчеты руководителей структурных подразделений соответствующих дирекций, допустивших ухудшение режима рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад.

Начальниками эксплуатационных локомотивных депо, по итогам работы месяца и квартала подготавливается анализ состояния режима рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад с выработкой мер, направленных на исключение допущенных нарушений.

В целях реализации процесса возмещения затрат утвержден состав центральной комиссии ОАО «РЖД» по контролю за использованием рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад, которой ежеквартально подводятся итоги использования рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад.

Также можно отметить внедрение в жизнь такого инструмента как личная заинтересованность работников. Для закрепления личной материальной ответственности в 2014 году в ряде дирекций были разработаны положения об организации дополнительного премирования за снижение непроизводительных потерь рабочего времени работников локомотивных бригад [2].

Данный обзор нововведений в области управления непроизводительными затратами позволяет сделать вывод о необходимости развития системы управления непроизводитель-

ными затратами. В настоящее время остается неохваченным достаточно большой ряд предложенных инструментов, таких как установление метода расчета затрат, связанных с потерями, корректировка фонда оплаты труда внешних виновников нарушения, а также контроль за возмещением понесенных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лунина, Т.А. Экономические инструменты управления непроизводительными затратами по центрам ответственности / Т.А.Лунина, Л.Н. Аршба // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -с. 92-95.

2 О введении в действие положения об организации контроля за режимом рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад, обеспечении достоверного учета их работы: распоряжение ОАО «РЖД» от 4 июля 2014 г. № 1327р.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *непроизводительные затраты, непроизводительные потери рабочего времени локомотивных бригад, система управления затратами, центры ответственности*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Аршба Людмила Николаевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Головащенко Роман Витальевич, студент ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

М.Ю. Михайлова

NORMATIVE LEGAL ASPECTS OF TRANSPORT SAFETY
Siberian state university of water transport
M.Yu. Mikhaylova

Conditions and factors, newest Russian legislation in this specific field, law enforcement problems which can improve transport safety in Russian Federation were analysed in this article.

Keywords: transport safety, threat on transport safety, transport infrastructure, validation

Проанализированы условия и факторы, способные улучшить безопасность на транспорте в Российской Федерации, новейшее российской законодательство в данной области, проблемы правоприменения.

Безопасность на транспорте является актуальным вопросом для всех без исключения людей независимо от места проживания и гражданства. Технологическое развитие, научно-технический прогресс, инновации, процессы глобализации затрагивают все новые и новые сферы человеческой деятельности. Террористические угрозы, катастрофы техногенного характера, аварии на транспорте стали повседневной действительностью.

Фундаментальной характеристикой условий жизнедеятельности, окружающей человека среды является уровень безопасности: чем выше уровень безопасности, тем лучше адаптированы условия для жизни человека, тем более защищенно и комфортно он себя ощущает. Таким образом, обеспечение безопасности становится важнейшей функцией деятельности по управлению качеством жизни [1].

Российская Федерация в настоящее время переходит к новой государственной политике в области транспортной безопасности, реализуя целую систему правовых, экономических, управленческих, организационных и других мер в сфере транспортного комплекса. В правовую науку вводятся такие понятия как «государственная безопасность», «транспортная безопасность», «экологическая безопасность», «информационная безопасность» и другие. Они являются основой для разработки государственных программ, доктрин стратегического развития нашей страны.

В 2007 году был принят Федеральный закон «О транспортной безопасности» от 09.02.2007 №16-ФЗ, который должен был комплексно урегулировать вопросы безопасности транспорта, стать основным, кодифицированным актом в данной области. Однако в процессе доработок и согласований закон претерпел значительные изменения, в результате, на сегодняшний момент данный законодательный акт содержит весьма разрозненное и поверхностное регулирование указанной сферы. В статье .1 п. 10 ФЗ «О транспортной безопасности» дается следующее определение: «Транспортная безопасность – состояние защищенности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства». Вместе с тем, понятие транспортной безопасности более обширное, комплексное, и определить его можно только исходя из различных видов угроз нормальному

функционированию всех видов транспорта.

Понятию «безопасность» уделялось весьма большое внимание во все времена существования человеческого общества. Аристотель, Н. Макиавелли, Б. Спиноза, Дж. Локк и другие мыслители прошлого отмечали, что при сильном государстве с мудрым руководством надежно обеспечена его целостность, суверенность и процветание. «Безопасность – главная добродетель государства», – отмечал Б.Спиноза [2], а Жан Жак Руссо считал «заботу о самосохранении» самой важной заботой государства [3].

«Безопасность» – это по большому счету, отсутствие опасности, угрозы, наступления вредного результата. В Толковом словаре живого великорусского языка В.И. Даля, угроза – это «грозить, стараться страшать, наводить опасность, держать кого-либо под страхом, под опаской...» [4]. В словаре С.И. Ожегова «угроза» понимается как «запугивание, обещание причинить кому-либо вред, зло» [5].

Угрозы транспортной безопасности – это условия и факторы, способные привести к снижению уровня транспортной безопасности, ущербу национальной безопасности Российской Федерации, нарушению устойчивости транспортной деятельности, нанесению вреда здоровью и жизни людей, ущербу имуществу и окружающей среде, общенациональным экономическим потерям.

Традиционно выделяют три крупных группы угроз безопасности: угрозы природного характера, техногенного, социального (в том числе террористического характера). Среди транспортной безопасности существует деление угроз на внешние и внутренние, а также угрозы, специфичные для каждого вида транспорта [6].

Угрозы техногенного характера связаны, прежде всего, с техническим состоянием транспортных средств, их степенью износа, качеством и частотой ремонтных работ. Например, одной из основных причин гибели 122 человек на теплоходе «Булгария» 10 июля 2011 года назывался его возраст (построен в 1955 году на верфи в Чехословакии), технические неполадки, долгое отсутствие ремонта. Угрозы природного характера предотвратить, а часто и предсказать сложнее. Они не зависят от человеческой деятельности, но наносят не менее значительные потери. Уметь предусмотреть возможность наводнений, землетрясений, ураганов, цунами, извержений вулканов, схода лавин и т.д. – является наиважнейшей задачей метеорологических служб. К угрозам социального характера (помимо террористической угрозы) относятся качество государственного управления транспортной инфраструктурой, подготовка и повышение квалификации сотрудников транспортной сферы. «Человеческий фактор» – является одной из основных причин всех аварий на транспорте. В связи с дефицитом пилотов в условиях роста авиаперевозок, был принят Федеральный закон от 20.04.2014 №73-ФЗ «О внесении изменений в статью 56 Воздушного кодекса Российской Федерации и статью 14 Федерального закона «О правовом положении иностранных граждан в Российской Федерации»», который разрешил иностранным гражданам быть командирами воздушных судов Российской Федерации.

По причине технической неисправностей и неполадок происходит до 64% различных инцидентов и катастроф, по причинам природного характера около 32%, а социальный характер имеют лишь 4% угроз [7].

Конституция Российской Федерации от 12.12.1993, дает полные основания и обязывает к государственно-управленческой деятельности по обеспечению транспортной безопасности в России. Статья 71 Конституции РФ относит к ведению Российской Федерации экономическое развитие, федеральный транспорт и пути сообщения, оборону и безопасность. Федеральные транспорт, пути сообщения составляют основу транспортной системы страны и включают железнодорожный, воздушный, морской, речной, трубопроводный транспорт и федеральные автомобильные дороги. Транспорт и транспортная инфраструктура являются одним из ключевых факторов обеспечения социальной функции государства, связанным со свободным перемещением людей, товаров и грузов, территориальной мобильностью трудовых ресурсов, выполнению задач по обеспечению безопасности, поддержанию обороноспособности, ликвидации последствий стихийных и техногенных катастроф. Статья 72 Конституции Российской Федерации относит к совместному ведению Российской Федерации и субъектов Российской Федерации обеспечение правопорядка, общественной безопасности, экологической безопасности, борьбу с катастрофами и ликвидацию их последствий, в том числе в области транспорта.

Рост аварийности, травматизма, ущерба, повышение транспортных издержек, высокая степень износа технических средств, растущая угроза актов незаконного вмешательства уг-

рожающих безопасной деятельности транспортного комплекса, обострение межнациональных отношений создают широкий спектр угроз транспортной безопасности. Угроза, создание опасной обстановки – это не реальные вредные последствия, а определенное состояние, при котором еще только могут наступить конкретные вредные последствия [8].

Обеспечение транспортной безопасности можно рассматривать как специальную гарантию права на жизнь (статья 20 Конституции Российской Федерации), поскольку направлена на защиту конкретного индивидуального права (на жизнь) в большей мере по сравнению с другими правами, и в транспортной сфере возникает множество угроз жизни человека. Она представляет собой комплекс средств, включающих два вида обязанностей:

– обязанности государства, реализуемые через деятельность органов государственной власти и местного самоуправления, направленные на создание состояния защищенности в транспортной сфере;

– обязанности субъектов транспортной инфраструктуры: юридические – по соблюдению правил транспортной безопасности и моральные (нравственные), связанные с уважительным и доброжелательным отношением друг к другу [9].

По данным Федеральной службы государственной статистики в Российской Федерации число умерших от всех видов транспортных несчастных случаев составляет от 30 до 35 тыс. человек ежегодно. Наиболее резонансными примерами последних лет, демонстрирующими недостаточный уровень обеспечения транспортной безопасности, являются взрывы в Москве на станциях метро «Лубянка» и «Парк культуры» в марте 2010 года, в аэропорту «Домодедово» в январе 2011 года. Падение самолетов в сентябре 2008 года, под Пермью, в июне 2011 года, под Петрозаводском, в сентябре 2011 года, под Ярославлем, авария теплохода «Булгария» в июле 2011 года и другие.

В настоящее время разработаны федеральные и отраслевые целевые программы развития транспорта. Их реализация должна не только обеспечить эффективное удовлетворение потребностей экономики и населения в перевозках грузов и пассажиров в рыночных условиях, но и определяет содержание государственной политики в области обеспечения транспортной безопасности [10].

С 1 января 2012 года в соответствии с поручением Правительства Российской Федерации было усовершенствовано законодательство в области внутреннего водного транспорта, созданы администрации речных бассейнов (АРБ), службы капитанов речных бассейнов, перераспределены функции Ространснадзора и Росморречфлота. Такая система выстраивается по аналогии с морским транспортом, где капитанами морских портов осуществляется портовый контроль.

Недостатки Федерального Закона «О транспортной безопасности» от 09.02.2007 №16-ФЗ призван исправить Федеральный закон от 03.02.2014 №15-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам обеспечения транспортной безопасности». Данным законом расширен понятийный аппарат и задачи обеспечения транспортной безопасности, более детально регламентированы вопросы обеспечения транспортной безопасности, информационное обеспечение в данной области.

Так, в соответствии со статьей 4 Закона «О транспортной безопасности» обеспечение транспортной безопасности осуществляется в настоящее время также перевозчиками, федеральными и региональными органами исполнительной власти, а также органами местного самоуправления в пределах их компетенции. Обеспечение защиты от актов незаконного вмешательства, в том числе террористических актов, зданий, строений, сооружений, не отнесенных к объектам транспортной инфраструктуры, и объектов, строительство которых не завершено и которые расположены в границах (на территории) объектов транспортной инфраструктуры теперь регламентировано Федеральным законом «О транспортной безопасности» от 09.02.2007 №16-ФЗ.

У субъекта транспортной инфраструктуры и перевозчиков появляется обязанность по предоставлению в компетентные органы в области обеспечения транспортной безопасности полной и достоверной информации для проведения категорирования. Категорирование производится в соответствии с Приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 24.04.2012 №105. Данным приказом были внесены изменения в Порядок установления количества категорий и критериев категорирования объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств, в зависимости от количественных показателей о возможных погибших или получивших вред здоровью людей, о возможном материальном ущербе и ущербе окружающей среде.

Изменениями в федеральное законодательство установлена необходимость осуществления подготовки и аттестации сил обеспечения транспортной безопасности, которые подлежат обязательной аттестации. Аттестация – это установление соответствия знаний, умений, навыков личностных (психофизиологических) качеств, уровня физической подготовки отдельных категорий лиц. Аттестующие организации это юридические лица, аккредитованные Федеральными агентствами, определяемыми Министерством транспорта Российской Федерации совместно с ФСБ России, МВД России. Росморречфлот, Росавтодор, Росавиация и Росжелдор теперь наделены правом проведения аккредитации юридических лиц в качестве подразделений транспортной безопасности в установленной сфере деятельности, аттестацию сил обеспечения транспортной безопасности, а также осуществлять аккредитацию аттестующих организаций [11].

Министерством транспорта Российской Федерации подготовлено и выложено для всеобщего обсуждения на сайте ведомства 16 проектов постановлений Правительства России и 10 проектов приказов Минтранса России, касающихся транспортной безопасности.

С февраля 2014 года субъекту транспортной инфраструктуры и перевозчику предоставлена возможность проведения досмотра, дополнительного досмотра, повторного досмотра. Вводить данные правила призвано Министерство транспорта Российской Федерации. Эти нововведения легализуют, например, установку в вокзальных комплексах досмотровую технику и работу на ней персонала, обладающего необходимыми полномочиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Щекотин, Е.В. Катастрофы повседневности: представление о качестве жизни в обществе риска: монография / Е.В. Щекотин. –Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2014. -119 с.
- 2 Спиноза, Б. Избранные сочинения: в 2 т. / Б. Спиноза. -Москва, 1965. – Т. 2. - 290 с.
- 3 Руссо, Ж.-Ж. Об общественном договоре. Трактаты / Ж.-Ж. Руссо. -Москва., 1969. – 171 с.
- 4 Даль, В.И. Толковый словарь живого великорусского языка. В 4 т. Т. IV: М. / В.И. Даль. -1991. – 470 с.
- 5 Ожегов, С.И. Словарь русского языка / С.И. Ожегов; под ред. Н.Ю. Шведовой. – 23 -е изд. -Москва: Рус. яз., 1990. -823 с.
- 6 Нормативно-правовые проблемы обеспечения транспортной безопасности Российской Федерации / С.С. Сулакшин [и др.] // Научный эксперт. -Москва, 2004.
- 7 Котлов, Ю.Л. Транспортная безопасность государств -членов организации договора о коллективной безопасности/ Ю.Л. Котлов // Эксперт трансп. -2010. -№5.
- 8 Куринов, Б.А. Научные основы квалификации преступлений / Б.А. Куринов. – Москва, 1983. -81 с.
- 8 Коняев, С.А. Обеспечение транспортной безопасности в системе гарантий конституционного права на жизнь: автореф. дис. ... канд. юрид. наук / С.А. Коняев. -Воронеж, 2013. – 12 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *транспортная безопасность, угрозы транспортной безопасности, транспортная инфраструктура, аттестация*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Михайлова Мария Юрьевна, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ЗАДАЧИ И ПРИОРИТЕТЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФКУ «СИБУПРАВТОДОР»

ФКУ «Сибуправтодор»

Д.А. Тулеев

OBJECTIVES AND PRIORITIES OF INNOVATIVE ACTIVITY PKU "SIBUPRAVTODOR"

Sibupravtodor
D.A. Tuleev

The article discusses the main factors determining the demand for innovative development of road infrastructure, priorities and organizational components of innovation, formation of plans to develop investment, information technology development investment, as well as the introduction and use of new materials and technologies. As the examples show some advanced materials and technologies that have found application in the construction of the Northern Bypass road in Novosibirsk and other federal highways in Siberia.

Keywords: innovative activities, priority lines, organizational components, priorities and organizational components of the road sector, capacity, advanced technology and materials

Рассматриваются основные факторы, определяющие потребность в инновационном развитии дорожного хозяйства, приоритетные направления и организационные составляющие инновационной деятельности, порядок формирования планов освоения инвестиций, информационное обеспечение освоения инвестиций, а также внедрения и применения новых материалов и технологий. В качестве примеров показываются отдельные прогрессивные материалы и технологии, нашедшие применение в строительстве Северного автодорожного обхода г.Новосибирска и других федеральных трассах Сибирского региона.

В соответствии с положениями Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. [1], Федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России 2010-2015 гг.» [2] и Стратегии развития инновационной деятельности на период 2011-2015 гг. [3], ключевой задачей транспортного комплекса является переход к интенсивному, инновационному, социально-ориентированному типу развития, что требует адекватных стратегических решений по инновационному развитию дорожного хозяйства на среднесрочную и дальнейшую перспективу.

В настоящее время потребность в инновационном развитии дорожного хозяйства определяется влиянием следующих основных факторов:

- продолжающимся ростом парка транспортных средств, увеличением доли автомобилей с высокими динамическими характеристиками и повышенными осевыми нагрузками, что требует пересмотра требований к основным техническим параметрам автомобильных дорог; высокой интенсивностью движения, что вызывает возникновение транспортных заторов, особенно в зонах влияния крупных городов и требует ускоренного строительства автомагистралей и скоростных дорог, отвечающих международным стандартам развития и строительства, применения усовершенствованных систем организации дорожного движения;

- значительной стоимостью дорожно-строительных материалов и оборудования при одновременном повышении требований к соблюдению межремонтных сроков, что требует совершенствования механизмов ценообразования;

- появлением новых технологий строительства и эксплуатации дорог, что влечёт за собой рост требований к качеству дорожных работ с учётом региональных особенностей.

Влияние указанных факторов требует перестройки деятельности федерального казенного учреждения (ФКУ) на принципах инновационного развития. Основой его является научно-техническая и инновационная деятельность, направленная на получение, распространение и использование новых знаний и технических решений для решения экономических, технологических, социальных и иных проблем в дорожном хозяйстве. Однако в сфере регулирования инновационной деятельности немало проблем, характерных не только для дорожного хозяйства. Одна из основных проблем заключается в том, что основные потребители инновационной продукции, органы управления дорожным хозяйством, проектные и подрядные организации – не рассматривают применение инноваций в качестве одной из приоритетных задач своей деятельности, что негативно отражается на эффективности дорожных работ, их темпах и стоимости. Отсутствует перечень технологий дорожного хозяйства, обеспечивающий эффективное планирование инновационной деятельности на объектах строительства, ремонта и содержания дорог.

Организация работ по освоению инновационной продукции в дорожном хозяйстве включает:

- разработку проектной документации с использованием инновационной продукции;
- формирование и реализацию планов освоения инноваций в дорожном хозяйстве;
- информационное обеспечение освоения инноваций.

При ремонтах, реконструкции, строительстве федеральных автомобильных дорог Новосибирской, Омской, Кемеровской, Томской областей, подведомственных ФКУ «Сибуправтодор», применяются инновационные технологии и материалы, и их внедрение является одним из приоритетных направлений в Управлении. Работы по освоению инноваций начинаются с разработки проектной документации. В заданиях на разработку проектной документации вводится специальный раздел «Применение новых технологий, техники, конструкций и материалов», включающий перечень инновационной продукции, рекомендуемый для использования проектными и подрядными организациями.

При разработке проектной документации на выполнение дорожных работ освоение инноваций обеспечивается за счет:

- замены на основе технико-экономического сравнения типовых решений новыми прогрессивными техническими решениями, обеспечивающими снижение строительных затрат, повышение долговечности и сроков службы конструктивных элементов дорог и дорожных сооружений, решение проблем выполнения дорожных работ, а также функционирования дорог и сооружений на них в сложных природно-климатических и инженерно-геологических условиях;

- применения в проектах новых эффективных дорожно-строительных материалов и конструкций;

- применения ресурсо- и энергосберегающих технологий производства работ.

Планы освоения инноваций формируются ежегодно на основании утвержденной Росавтодором программы дорожных работ по строительству, реконструкции, капитальному ремонту и ремонту автомобильных дорог и искусственных сооружений на них на предстоящий период по форме, установленной «Методическими рекомендациями по организации освоения инноваций». В проект плана включаются: инновационная продукция из утвержденной в установленном порядке проектной документации по строительству, реконструкции, капитальному ремонту и ремонту, а также инновационная продукция, предлагаемая для применения при содержании автомобильных дорог и искусственных сооружений на них. На основании утвержденного Федеральным дорожным агентством (ФДА) плана освоения инноваций, после заключения государственных контрактов на строительно-монтажные работы, профильными отделами и филиалами Управления формируется «план-график» с указанием периода (даты) внедрения инноваций. Сводный «план-график» формируется руководителем группы лиц, ответственных за формирование Плана освоения инноваций, учет, мониторинг и контроль внедрения инноваций и утверждается приказом Управления. Планы освоения инноваций в ходе их реализации при необходимости могут быть откорректированы по письменному запросу-обращению в Росавтодор с указанием причин корректировки.

При выполнении работ в соответствии с проектной документацией в части освоения инноваций при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте, ремонте и содержании автомобильных дорог и искусственных сооружений на них проводят следующие виды работ:

- проверка выполнения всех видов работ, предусмотренных проектной документацией по освоению инновационной продукции;
- проверка соблюдения организации проведения дорожных работ, связанных с применением инновационной продукции;
- экспериментальные наблюдения, лабораторные испытания применяемых новых дорожно-строительных материалов и конструкций;
- приемка работ, связанных с освоением инновационной продукции.

Проверка выполнения всех видов работ, предусмотренных проектной документацией по освоению инновационной продукции включает в себя:

- наблюдение за этапами реализации инновационной продукции на стадии выполнения строительно-монтажных работ с ведением фото- и (или) видеосъемки, в том числе мониторинг качества и соответствия технологических этапов реализации инновационной продукции установленным нормативным требованиям; проведение обследований;
- проведение требуемых обследований, испытаний, измерений на стадии выполнения строительно-монтажных работ;
- наблюдение за инновационной продукцией и проведение требуемых обследований, испытаний, измерений в процессе жизни инновации.

По результатам реализации плана освоения инноваций профильными отделами совместно с сотрудниками отдела контроля качества выполняется «отчет об освоении инноваций», который направляется в Росавтодор (по требованию).

Информационное обеспечение освоения инноваций осуществляется по средствам единой системы «Автоматизированная система учета, мониторинга и контроля внедрения инноваций» (далее – АСУ МКВИ), состоящей из 2-х разделов: «Формирование Плана освоения инноваций»; «Мониторинг и контроль инноваций». Раздел АСУ МКВИ «Формирование Плана освоения инноваций» заполняется ответственными сотрудниками профильных отделов при содействии технического отдела. Раздел АСУ МКВИ «Мониторинг и контроль инноваций» заполняется ответственными сотрудниками профильных отделов при содействии отдела контроля качества.

Внедрение и применение материалов и технологий нового поколения является одним из требований государственных контрактов, которые Управление заключает с подрядными организациями. С учетом современных требований проектируются новые объекты и ведутся работы на существующих.

Мировая практика показывает, что цементобетонное покрытие в наибольшей степени отвечает возрастающим требованиям к качеству дорог и увеличению срока службы на грузонапряженных магистралях. Цементобетонное покрытие является наиболее оптимальным, особенно в климатических условиях Сибири. При сравнении дорожной одежды с цементобетонным и асфальтобетонным покрытиями по приведенным (дисконтированным) затратам цементобетонное покрытие менее затратное (таблица).

Таблица – Сравнение вариантов дорожной одежды жесткого и нежесткого типов

Наименование показателей	Единица измерения	Варианты покрытия	
		асфальтобетон	цементобетон
Строительство (прямые затраты)	тыс. руб./1000 м ²	2 326,0	2 571,0
С учетом дисконтированных* затрат	тыс. руб./1000 м ²	5 117,0	3 741,10

*-в стоимость дисконтированных затрат включены затраты на капитальный ремонт покрытия периодичностью 14 лет, затраты на ремонт при межремонтных сроках через 3 года и содержание дороги в течение 25 лет.

Использованный на Северном автодорожном обходе Новосибирска тип цементобетонного покрытия в прошедший период эксплуатации подтвердил его высокие эксплуатационные качества.



Рисунок 1 – Участки Северного обхода г.Новосибирска в месте развязки и мостового перехода через р. Обь

Для ремонта цементобетонных покрытий используются битумоминеральные открытые смеси (БМО), имеющими в своем составе повышенное, по сравнению с традиционными асфальтобетонными смесями, содержание щебня (55-85% по массе). Повышенное содержание щебня обеспечивает жесткую каркасную структуру слоя и поверхность с высокими параметрами шероховатости.

Устройство металлических гофрированных труб при реконструкции автомобильной дороги М-53 «Байкал» – подъезд к г. Томск 82 км-98 км в Томской области и капитальном ремонте автомобильной дороги Р-255 «Сибирь» в Новосибирской области существенно снизило затраты на сборку конструкции. Конструкция обеспечивает эксплуатационную надежность сооружения при наименьших затратах на его содержание в течение всего срока службы. Гофротруба работает с окружающим грунтом и составляют с ним единую систему «труба-грунт», что обеспечивает гибкость и высокую прочность конструкции. Такие сооружения более сейсмостойкие по сравнению с бетонными конструкциями, и имеют повышенный срок эксплуатации (более 50 лет).

Устройство шумозащитных экранов на автомобильных дорогах Р-255 «Сибирь» и Р-402 «Тюмень-Ялуторовск-Ишим-Омск» из металлических панелей предотвращает распространение шума, защищает от распространения в воздухе вредных частиц, обеспечивает долговечность конструкции, устойчивость к деформациям, ударам, механическим воздействиям. Панели представляют собой каркасную систему прямоугольной формы, внутри которой расположен звукопоглощающий материал. Выполнены из водостойких антикоррозионных панелей, хромированных порошковым полистиролом и обработанных защитным лаком.

Высокомодульный тканый материал для армирования и разделения грунтов «Stabilenka» применен при строительстве 2-го этапа первой очереди автомобильной дороги Омск-Новосибирск на участке от с. Прокудское до пос. Сокур с мостовым переходом через р. Обь у пос. Красный Яр в Новосибирской области (км 49+830-км 76+100) и строительстве автомобильной дороги М-52 «Чуйский тракт» – от Новосибирска через Бийск до границы с Монголией на участке Новосибирск-Линево (1 этап км 14-34). Высокопрочный материал из полиэфирных нитей применен на объектах при устройстве земляного полотна для армирования слабого грунта. Укладка материала «Stabilenka» обеспечивает повышение несущей способности земляного полотна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. : утв. распоряжением Правительства Рос. Феде-

рации от 22 нояб. 2008 г. № 1734-р.

2 Федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России 2010-2015 гг.»: утв. распоряжением Росавтотодор от 22.11.2011 № 904-р.

3 Стратегия развития инновационной деятельности на период 2011 -2015 годов: утв. распоряжением ФДА Росавтотодор от 22.11.2011 г. № 904-р.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *инновационная деятельность, приоритетные направления, организационные составляющие, приоритетные направления и организационные составляющие дорожной отрасли, пропускная способность, прогрессивные технологии и материалы*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Тулеев Дмитрий Аманович, начальник ФКУ «Сибуправтотодор»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630008, г.Новосибирск, ул.Добролюбова, 111, ФКУ «Сибуправтотодор»*

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОПРОЦЕССНОГО МЕТОДА НОРМИРОВАНИЯ ТРУДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ ОАО «РЖД»

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

И.Н. Спицына, О.Ю. Волкова

THE USE OF THE PROCESS METHOD OF SETTING LABOR NORMS IN THE SYSTEM OF COST MANAGEMENT JSC «RUSSIAN RAILWAYS»

Siberian state transport university
I.N. Spitsyna, O.Yu. Volkova

The use of the Process method of setting labor norms will solve a number of problems that arise from the use of the Operational method of setting labor norms in the structural divisions of JSC «Russian Railways».

Keywords: labor norms, labor resources, informational systems, cost management, railway transport

Внедрение попроцессного метода нормирования труда позволит решить ряд проблем, которые возникают при использовании пооперационного метода нормирования труда в структурных подразделениях ОАО «РЖД».

Актуальность данной проблемы проявляется в том, что для любого структурного подразделения ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»), существующего в условиях рыночной экономики, необходимо четко учитывать текущие и планируемые затраты. Так как большинство производственных процессов на железнодорожном транспорте является трудоемкими, стоит обладать достоверными унифицированными нормами времени на их выполнение, а значит, возможностью точно рассчитать сумму затрат для составления достоверной калькуляции стоимости выполняемых работ.

В ОАО «РЖД» давно доказал свою эффективность попроцессный метод калькуляции затрат и себестоимости. Согласно общепринятому мнению, попроцессный метод калькуляции должен использоваться для установления средней себестоимости партии одинаковых единиц продукции и преобладает в массовых производствах, а также в добывающих отраслях промышленности. Согласно этой устоявшейся точке зрения, наиболее целесообразно применение попроцессного метода калькуляции себестоимости продукции на предприятиях, имеющих следующие особенности: качество продукции однородно; отдельный заказ не оказывает влияния на производственный процесс в целом; выполнение заказов покупателя обеспечивается на основе запасов производителя; производство является серийным или массовым и осуществляется поточным способом; применяется стандартизация технологических процессов и продукции производства; спрос на выпускаемую продукцию постоянен; контроль затрат по производственным подразделениям является более целесообразным, чем учет на основе требований покупателя или характеристик продукции; стандарты по качеству проверяются на уровне производственных подразделений; например, технический контроль проводится на уровне производственных подразделений непосредственно на линии в ходе производственного процесса.

Критический анализ особенностей производства в структурных подразделениях ОАО «РЖД» доказывает, что ряд вышеперечисленных пунктов не присущ железнодорожному транспорту. Качество продукции не однородно; выполнение заказов покупателя не обеспечивается на основе запасов производителя; производство не является серийным или массовым и не осуществляется поточным способом в классическом понимании.

Тем не менее, несмотря на то, что часть предприятий по ремонту подвижного состава применяет сегодня позаказный метод калькуляции себестоимости продукции, предприятия

инфраструктуры железнодорожного транспорта используют только попроцессный метод. Его применение продиктовано как раз неоднородностью продукции, индивидуальными особенностями технологии производства каждой единицы при очень большом объеме производства. Единственной возможностью зачастую является суммирование всех затрат предприятия (или расходов центров затрат, входящих в состав предприятия) за определенный период времени и деление этих расходов на общее количество изделий, произведенных за этот период, для получения среднего показателя затрат производства в расчете на единицу продукции.

Достигнуть эффективности использования попроцессного метода калькуляции в ОАО «РЖД» удастся за счет двух факторов: при помощи создания всеобъемлющей системы бюджетирования затрат, которая в настоящее время полностью автоматизирована, а также за счет применения процессного подхода к управлению на всех уровнях производства. Для уравнивания качества продукции применяются технические регламенты и нормативы, кроме того, работы максимально возможно проводятся по плано-предупредительному принципу, с максимально возможным уменьшением объема непредвиденных работ. Главный плюс попроцессного метода калькуляции в том, что отпадает необходимость устанавливать себестоимость любой конкретной единицы продукции (например, текущего содержания каждого конкретного километра пути), а поскольку процесс производства непрерывный, то обычно и невозможно установить определенное производственное время, отведенные на каждое отдельное изделие.

Однако, в нормировании труда в ОАО «РЖД» широко применяется пооперационный метод, который противоречит всей сложившейся системе бюджетирования затрат. Метод этот очень трудоемок, поскольку он требует нормирования времени на каждую трудовую операцию, а зачастую и трудовое движение.

Исследования, проведенные НИЛ «Экономика транспорта» показали, что зачастую нормы времени на операцию, полученные путем проведения фотохронометражных наблюдений, противоречат производственным показателям. Например, исследуемый процесс состоит из трех операций. Согласно фотохронометражным наблюдениям норма времени на первую операцию составляет 13 минут, на вторую – 15 минут, на третью – 12 минут. Тем не менее, анализ объемов производства показывает, что данный процесс выполняется на предприятии в среднем за 30 минут. Данное противоречие возможно объяснить тремя недостатками пооперационного метода нормирования труда.

Во-первых, для получения достоверной нормы времени необходимо большое количество замеров, проведенных в разных климатических и производственных условиях. Применение отраслевых норм времени доказало свою неэффективность, так как в различных структурных подразделениях одного хозяйства могут существенно отличаться и техническая оснащенность, и технология производства работ. На текущем содержании пути более 2000 операций, один инженер по организации и нормированию труда не способен осуществить разработку достоверных местных норм времени.

Во-вторых, при проведении фотохронометражных наблюдений все работники стараются работать медленнее, используя трудовые приемы и технологию, которые не применяются в производстве.

В-третьих, при объединении трех операций в один производственный процесс действует мультипликативный или синергетический эффект, и общее время объединенного процесса может быть меньше суммарного времени операций. Однако, при разработке местных норм времени необходимо учитывать реально сложившиеся фактические затраты времени на работы.

Таким образом, пооперационный метод нормирования труда является очень трудоемким, но мало результативным, то есть неэффективным с точки зрения управления затратами ОАО «РЖД».

Попроцессный метод нормирования не обладает двумя последними недостатками, однако также требует большого числа наблюдений, поскольку процесс может обладать еще большим, чем операция, числом индивидуальных технологических особенностей. Именно поэтому его применение и не было широко распространено.

Сегодня в ОАО «РЖД» разработаны и эффективно применяются ряд информационно-аналитических систем (ИАС), которые аккумулируют большое количество информации, в том числе информации о продолжительности производственных процессов. Извлечение необходимых данных из ИАС и их последующая обработка могут стать методом формирова-

ния информационной базы для разработки местных норм времени, что позволит эффективно внедрить систему попроцессного нормирования труда сегодня в целом ряде структурных подразделений ОАО «РЖД».

Применение попроцессного метода нормирования труда позволит решить ряд проблем, которые пооперационный метод нормирования решить не в состоянии. Научно-исследовательской лабораторией «Экономика транспорта» были проведены фотохронометражные работы на работы по метрологическому обслуживанию электро- и радиотехнических средств измерений, поступающих в Красноярский Центр метрологии (КЦМ) [1].

В условиях рыночной экономики, когда в КЦМ могут поступать на калибровку и ремонт средства измерения не только от внутренних, но и от внешних потребителей, следовательно, необходимо иметь возможность применять научно обоснованные многоэлементные местные нормы времени, учитывающие индивидуальную технологию производства работ. Однако общепринятая методика нормирования не дала положительных результатов. Научно-исследовательской лабораторией «Экономика транспорта» были проведены фотохронометражные наблюдения ремонтов 1, 2, 3 категорий сложности приборов различных типов, однако, данные хронометражных наблюдений нельзя использовать с целью разработки местных норм времени, так как состав операций в хронометражных формах не совпадает (то есть не удается найти хотя бы два одинаковых наблюдения).

В тоже время, использование данных о продолжительности и составе работ за продолжительный период времени, которые способна накопить информационно-аналитическая система, позволило бы разработать многоэлементную местную норму на процесс и учесть реально сложившиеся фактические затраты времени на ремонты различных категорий сложности.

Хотя данная методика является трудоемкой на этапе разработки и внедрения, применение в практической деятельности попроцессного метода нормирования приносит значительный эффект, и позволяет сохранять актуальность разработанных нормативов на протяжении длительного срока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Волкова, О.Ю. Новые подходы к разработке норм затрат труда в Центрах метрологии железных дорог / О.Ю. Волкова, И.Н. Спицына // Экономика желез. дорог. -2015. -№1. -С. 63-70.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *нормы труда, трудовые ресурсы, информационные системы, управление затратами, железнодорожный транспорт*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Спицына Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Волкова Ольга Юрьевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА В ХОЗЯЙСТВЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.А. Прудников, Е.А. Макарова

ANALYSIS OF ECONOMIC EFFICIENCY OF EXISTING BUSINESS PROCESSES SERVICING AND REPAIRS IN HOUSEHOLD ELECTRIFICATION AND POWER SUPPLY

Siberian state transport university

A.A. Prudnikov, E.A. Makarova

Modern features of successful existence of the company in terms of market relations is largely dependent on providing high-quality services at optimal cost. The achievement of these parameters is possible with continuous monitoring of the internal business processes and their improvement.

Keywords: economic efficiency, operational business process, evaluation, productivity

Современные особенности успешного существования компании в условиях рыночных отношений во многом зависит от предоставления высококачественных услуг по их оптимальной стоимости. Достижение этих параметров возможно при постоянном контроле внутренних бизнес-процессов и своевременном их совершенствовании.

Железнодорожный транспорт, являясь потребителем I категории, требует бесперебойного электроснабжения тяги поездов, устройств сигнализации, централизации и блокировки и других железнодорожных устройств. В ОАО «РЖД» данная задача возложена на хозяйство электрификации и электроснабжения.

Развитие хозяйства электрификации и электроснабжения ОАО «РЖД» осуществляется в соответствии со Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р [1].

Стратегией определены основные положения проведения структурных преобразований и развития хозяйства электрификации и электроснабжения: применение малообслуживаемых конструкций инфраструктуры железнодорожного транспорта, оборудования железнодорожной автоматики, связи и системы электроснабжения; создание нормативной базы содержания и эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта; сокращение удельных затрат на обслуживание инфраструктуры железнодорожного транспорта на 25-30%, и т.д.

Целью развития хозяйства электрификации и электроснабжения является снижение себестоимости железнодорожных перевозок за счет увеличения доли электрифицированных участков и повышения производительности труда, повышение безопасности и качества перевозок, а также снижение уровня загрязнения окружающей среды.

Важнейшей задачей развития хозяйства электрификации и электроснабжения в целом является снижение расходов на электрическую тягу поездов, то есть снижение затрат на обслуживание систем электроснабжения, в частности, за счет увеличения производительности труда.

Однако, на данный момент производительность труда в хозяйстве электрификации и электроснабжения рассчитывается как отношение выполненных тонно-километров брутто к среднесписочной численности работников, занятых в эксплуатации. Но работники хозяйства электрификации и электроснабжения не могут влиять на количество выполненных тонно-километров брутто. Таким образом, рассчитываемая «сегодня» производительность труда работника не зависит от личного вклада работника хозяйства электрификации и электроснабжения.

Особую актуальность на текущем этапе развития отрасли приобретает анализ экономической эффективности внутренних бизнес-процессов хозяйства.

Экономически эффективное функционирование хозяйства возможно только при построении оптимальных внутренних (производственных) бизнес-процессов. Как правило, основные резервы повышения эффективности бизнес-систем находятся внутри их самих, поскольку цена ресурсов на входе и услуги на выходе варьируется в незначительном диапазоне.

На наш взгляд, именно внутренние бизнес-процессы формируют основную деятельность по переработке электроэнергии и текущему содержанию устройств электроснабжения, они предусматривают контроль работы устройств и восстановление их при повреждениях.

В настоящее время поток внешней информации во внутренние бизнес-процессы поступает из Дирекции инфраструктуры, он жестко регламентирован и содержит в себе следующие данные:

- о результатах планирования и согласования «окон» по работам, требующим длительных перерывов в движении поездов, в том числе выполняемым не в системе электроснабжения;

- о взаимодействии с энергодиспетчерским персоналом энергосистемы при возникновении аварийных ситуаций с целью недопущения их развития, например, отказы в линиях электропередачи (ЛЭП), питающих группу тяговых подстанций;

- об осуществлении совместно с поездным диспетчерским персоналом регулирования движения потока поездов в вынужденных режимах работы системы электроснабжения;

- об отслеживании прохода по дистанции электрификации и электроснабжения (ЭЧ) поездов особой категории, вагонов-лабораторий контактной сети;

- о комиссионном обследовании хозяйства ЭЧ и др. [2].

Проведенное исследование внутренних функций хозяйства электрификации и электроснабжения позволили сформировать фактический внутренний бизнес-процесс. На рисунках 1-3 представлены схемы ключевых элементов внутренних бизнес-процессов хозяйства электрификации и электроснабжения.

Симбиоз данных элементов внутренних бизнес-процессов позволяет установить положительный или отрицательный эффект, описывающий его экономическую эффективность.

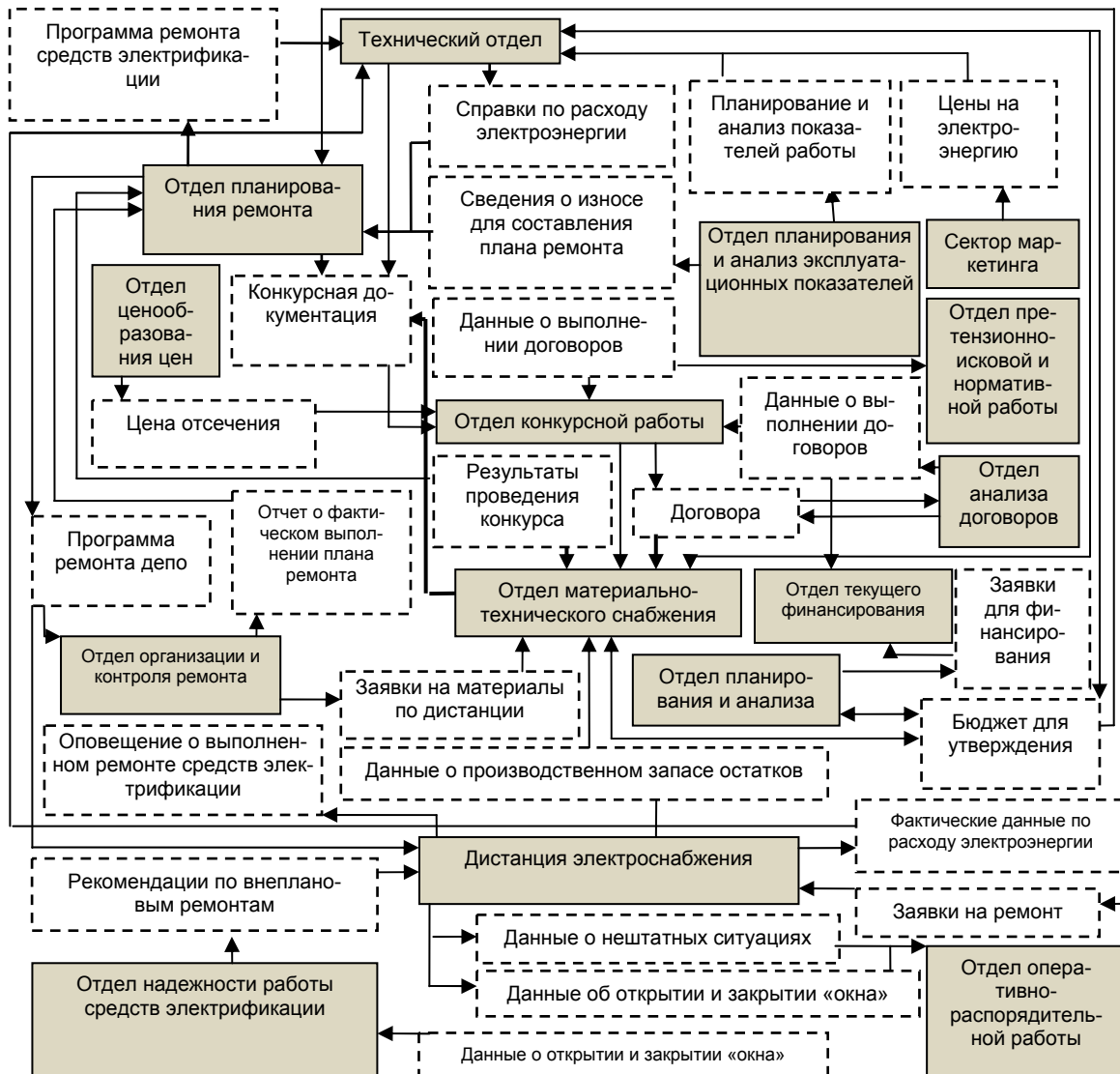


Рисунок 1 – Элемент внутреннего бизнес-процесса (оперативный)

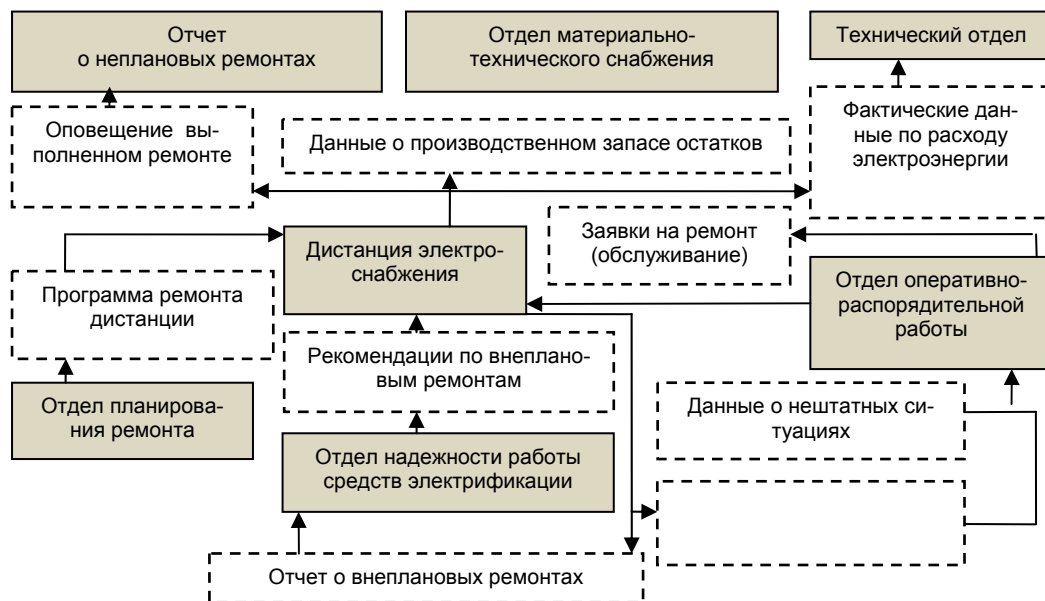


Рисунок 2 – Элемент внутреннего бизнес-процесса (формирование информационных потоков)

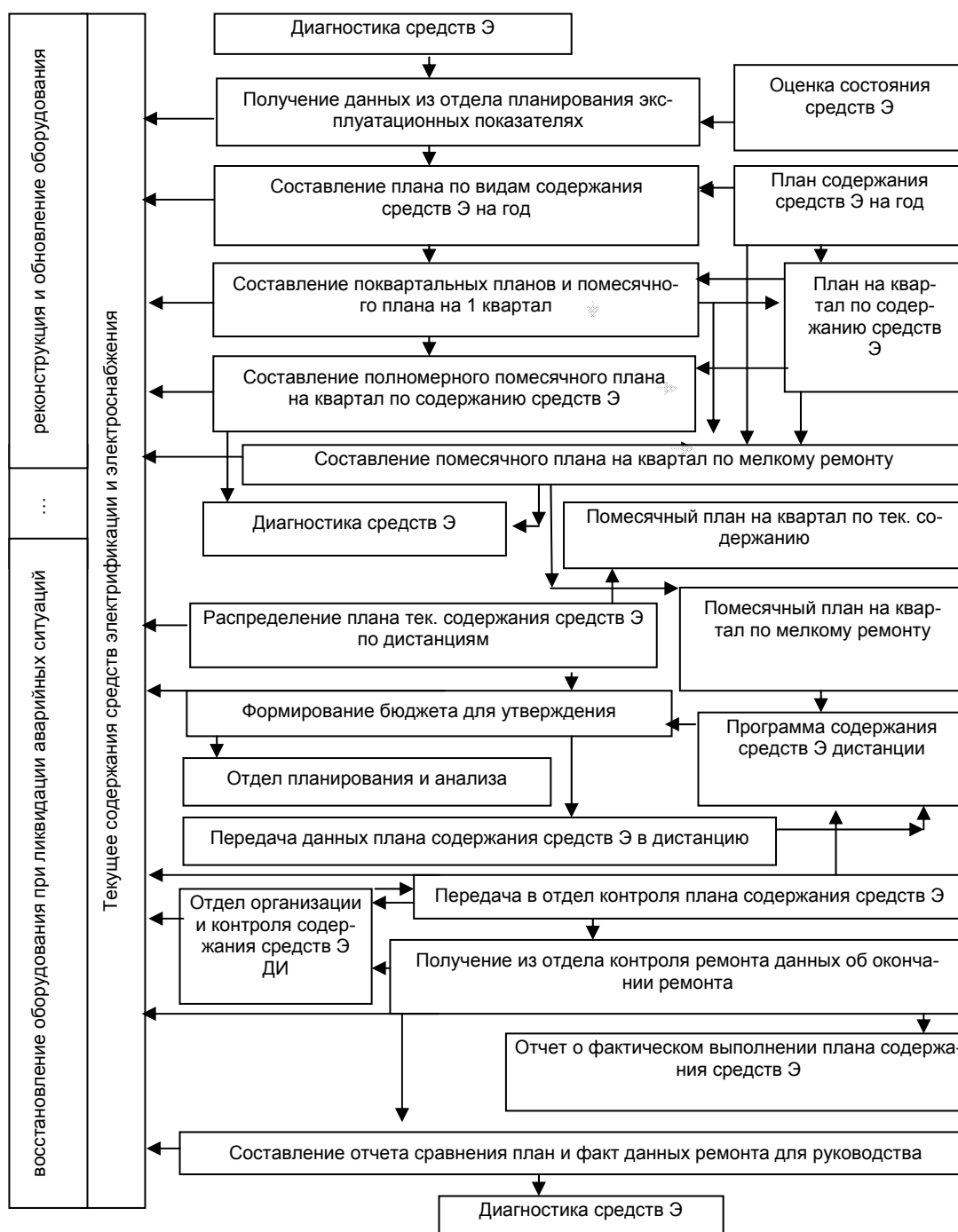


Рисунок 3 – Элемент бизнес-процесса текущего содержания средств электрификации

Для определения экономической эффективности внутреннего бизнес-процесса необходимо уточнить в описывающей его модели показатель или систему показателей.

Важнейшим показателем эффективности работы внутреннего бизнес-процесса является производительность труда. Её рост является главным резервом повышения эффективности транспортного производства, определяющим фактором снижения себестоимости перевозок и роста прибыли и рентабельности компании.

Как отмечалось ранее, для расчета производительности труда в хозяйстве электрификации и электроснабжения в качестве объема работы используется количество выполненных в электротяге тонно-километров брутто. Однако, с точки зрения сущности понятия производительности труда, данный способ расчета является не совсем корректным, так как объем перевозок не является результатом работы хозяйства, и не зависит от работников хозяйства электрификации и электроснабжения напрямую.

Текущее обслуживание устройств электроснабжения и электрификации из года в год остается относительно на одном уровне, для измерения динамики производительности тру-

да целесообразно использовать количество выполненных текущих ремонтов и капитальных ремонтов, а также обновлений и модернизации оборудования и устройств контактной сети, электроснабжения СЦБ и тяговых подстанций. Учитывая тот факт, что трудоемкость каждого из видов ремонта различна, для определения объема работ целесообразно привести все ремонты к условным единицам. В качестве основы приведения использована нормативная трудоемкость.

По результатам выполненных расчетов можно отметить, что динамика производительности труда, рассчитанная по условным ремонтам, и динамика производительности труда, рассчитанная по выполненным тонно-километрам брутто, значительно различаются (рисунок 4).

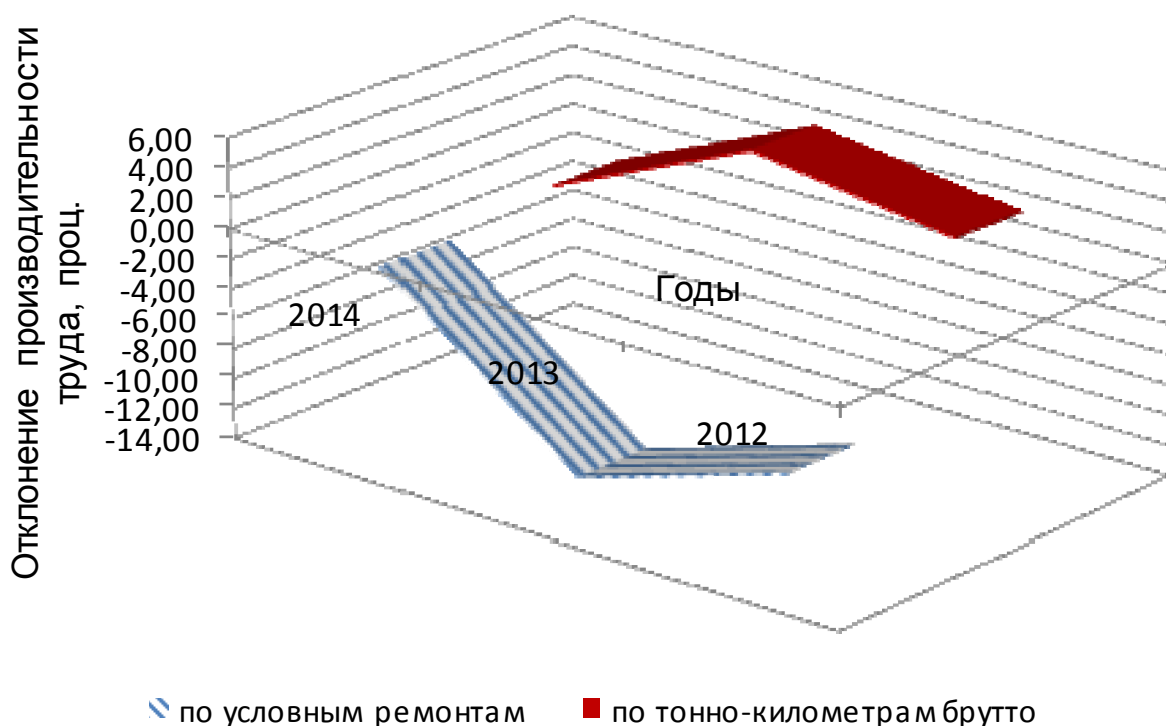


Рисунок 4 – Производительность труда, рассчитанная разными способами

Таким образом, можно говорить о том, что применяемый в хозяйстве электрификации и электроснабжения способ расчета производительности труда не является объективным и не отражает происходящих изменений в производстве.

Расчет производительности труда по предложенной методике способен дать реальную оценку эффективности Хозяйства. Как следствие, в хозяйстве могут быть обнаружены резервы снижения численности работников эксплуатации, увеличения объема работы, повышения эффективности труда и снижения себестоимости перевозок в электрической тяге, а также дополнительные рычаги мотивации персонала.

Анализируя изменившиеся данные в целом, можно сказать, что необходима оптимизация производственных бизнес-процессов, связанных с производительностью труда, чтобы в дальнейшем можно было оптимизировать численность работников хозяйства, высвободить средства фонда оплаты труда и снизить себестоимость перевозок в электрической тяге.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации: утв. распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877р // Собр. законодательства РФ. -2008. -№ 29, ч. II. -Ст. 3537.
 2 Грибачев, О.В. Оперативное управление дистанцией электроснабжения железной дороги / О.В. Грибачев. -Москва: Маршрут, 2006.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экономическая эффективность, производственный бизнес-процесс, оценка, производительность труда
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Прудников Алексей Александрович, канд. экон. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»
 Макарова Елена Анатольевна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

МЕТОДИКА ПОИСКА КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Г.К. Джурабаева, И.И. Панарин

THE SEARCH TECHNIQUE OF THE COMPLEX DECISION OF PROBLEMS OF MANAGEMENT OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

Novosibirsk state technical university
Siberian state transport university
G.K. Dzhurabaeva, I.I. Panarin

The problems of stimulating the development of production on the basis of state support, in priority to innovative projects aimed at the development of strategic and emerging industries and high technology. Announced the creation of a national innovation system. However, modern trends of development of innovative activity in Russia is not fully meet the expectations associated with the formation of innovative economy. The General trend of the modern economy accelerated obsolescence of any products, reducing the time required to create a new product and launch it on the market is the basis of search methodologies complex tasks of management of innovative activity.

Keywords: modernization of industry, promotion of industrial development, economy of innovative type, process innovation, maps of innovative activity, risk of innovation, diversification

Рассматриваются проблемы стимулирования развития производства на основе оказания государственной поддержки, в приоритетном порядке инновационным проектам, направленным на развитие стратегических, перспективных производств и наукоемких технологий. Объявлено о создании национальной инновационной системы. Однако современные тенденции развития, инновационной деятельности в России далеко не в полной мере отвечают ожиданиям, связанным с формированием экономики инновационного типа. Общая тенденция современной экономики ускорение морального старения любой продукции, сокращение времени, требующееся на создание нового продукта и выведения его на рынок составляет основу методологии поиска комплексного решения задач управления инновационной деятельностью.

Модернизация отечественной промышленности на реальной экономической основе становится национальной целью.

Практически абсолютное большинство предприятий используют устаревшее оборудование и технологии и их продукция явно не конкурентоспособна на мировых рынках. Для масштабной модернизации российской промышленности необходимо привлечение к реализации инноваций, чтобы сделать выгодным вложение финансовых средств в отечественную экономику, чтобы промышленность смогла на рынках конкурировать с западными и японскими фирмами. В долгосрочной перспективе страна вынуждена развивать перерабатывающие отрасли промышленности с целью не только удовлетворения потребностей страны, но и выхода с отечественной продукцией на мировые рынки. Однако меры по улучшению инновационной деятельности носят косметический характер и явно недостаточны для преодоления системного кризиса российской экономики. Объем иностранных инвестиций пока не играет решающей роли в развитии экономики и является неустойчивым. Стратегическая программа развития абсолютно ясна – промышленность России нуждается в коренной модернизации. Модернизация должна сопровождаться освоением новых технологий, новых производств, принципиально новых видов продукции, выработкой уникальной бизнес-модели, обеспечивающей конкурентные преимущества в долгосрочной перспективе.

Для стимулирования инновационной деятельности и развития производства чрезвычайно важно путем является оказание государственной поддержки в приоритетном порядке инновационным проектом, направленным на развитие стратегических, перспективных производств и наукоемких технологий.

Передовой уровень некоторых военных технологий, опережающий западные аналоги на 10-15 лет, огромные возможности в области совершенствования технологий двойного применения, проведение тщательного анализа сложившейся конъюнктуры рынка при выборе наиболее перспективных направлений развития во многом определяется рационально организованной и развивающейся системой управления инновационной деятельностью.

Инновационная деятельность определяется рядом специфических факторов для каждого

предприятия: динамика спроса и предложения на рынке, финансово-экономическое положение и особенности общей стратегии, качество и цена товара и т.д. Совокупность мероприятий по выявлению и использованию благоприятных факторов внешней и внутренней среды для всех субъектов хозяйствования с целью оживления и повышения эффективности инновационной деятельности, развития экономики, роста производства и решения социальных задач составляет основу инновационной политики государства. Государством формируются условия и активизируется инновационная деятельность, как на микро, так и макро уровнях. Сюда относятся мероприятия направленные на снижение темпов роста инфляции, рисков для иностранных капиталов в РФ, государственные выплаты по внешним долгам; мероприятия, снижающие налоги для инвесторов и облегчающие таможенные условия.

Величина экономического и производственного потенциалов, природно-климатические условия, экология, инновационная привлекательность для иностранных инвестиций являются факторами, обуславливающими инновационные процессы в регионе.

Процесс формирования и реализации инновационной деятельности опираются на показатели, включающие в себя выбор источников и методов финансирования инновационной деятельности, определение периода реализации инновационного проекта, определение специалистов и служб, ответственных за организацию и результаты инновационной политики формирования нормативно-правовой базы функционирования рынка инвестиций.

В настоящее время в России рядом Концепций регулирования и стимулирования инновационной деятельности созданы механизмы государственного финансирования инноваций, объявлено о создании национальной инновационной системы. Однако единого подхода к определению инновационной деятельности нет, ее оценка основывается на выборочных исследованиях, разорваны связи между разработчиками и потребителями нововведений.

Инновационным является такое предприятие, которое внедряет продуктовые или процессные инновации.

Инновация – это процесс создания, распространения и использования новой идеи, это объект, внедренный в производство и приносящий прибыль. Инновация – сложный процесс, предполагающий обеспечение экономического, социального, технического или экологического эффекта. Инновация может быть рассмотрена как процесс, система, изменение, результат.

Инновационный процесс – это процесс преобразования научного знания в инновацию, как последовательная цепь событий от идеи до конкретного продукта, технологии или услуги. Инновация представляет собой использование научных достижений в коммерческих целях. Г. Менц выделил три крупные группы инноваций: базисные, улучшающие и псевдоинновации. Базисные инновации подразделяются на технологические и нетехнологические. По мнению ученого, посредством перехода от базисных инноваций к улучшающим и далее – псевдоинновациям происходит движение от одного технологического пата к другому. А.И. Пригожий классифицировал инновации в зависимости от типа новшеств (материально-технические и социальные нововведения), механизма осуществления особенностей инновационного процесса. Он разделил понятия «инновация» и «новшество». По мнению ученого новшество – это предмет инновации, это разработка, проектирование, изготовление, использование, устаревание. Инновация же – это зарождение, диффузия, рутинизация (стадия, когда инновация «реализуется в стабильных, постоянно функционирующих элементах соответствующих объектов»). Инновационная деятельность – это деятельность по использованию и коммерциализацию результатов научных исследований и разработок.

Современные тенденции развития инновационной деятельности в России далеко не в полной мере отвечают ожиданиям, связанным с формированием экономики инновационного типа.

Доля России в мировом объеме торговли гражданской наукоемкой продукцией уже в течение ряда лет не превышает 0,3-0,5%. Для сравнения: доля США – 36%, Японии – 30%, Германии – 17%, Китая – 6%. Тиражи научно-популярных изданий снизились в сотни раз. Удельный вес России в общем числе публикаций в ведущих научных журналах мира не превышает 3%, что в 10 раз ниже, чем в США.

Министерством экономического развития разработана «Концепция долгосрочного социально-экономического развития России до 2020 г.», где уделяется большое внимание инновационному сценарию развития страны. Концепция определяет в качестве основной задачи на предстоящий период, переход от экспортно-сырьевой к инновационной модели экономического роста. В частности, планируется, что российская экономика не только останется ми-

ровым лидером в энергетическом секторе, добыче и переработке сырья, но и создаст конкурентоспособную экономику знаний и высоких технологий.

Основными источниками устойчивых конкурентных преимуществ являются продуктовые и технологические инновации, необходимое, но недостаточное условие успешной деятельности предприятия. Организационно-управленческие или процессные инновации позволяют получить значительные конкурентные преимущества в различных областях. Согласно М. Хаммеру компании должны быть организованы не на основе разделения труда, а на основе ключевых процессов. Базовой категорией, определяющей сущность процессного подхода является «процесс» или бизнес-процесс. Управление развитием предприятия на основе процессных инноваций позволяет повысить производственно-бытовые или организационно-экономические возможности предприятия. На базе разработанной Концепции предлагается внесение поправок в Закон России «Об инновационной деятельности» по учету, оценке и контролю процессных инноваций на предприятиях: стандарты описания бизнес-процессов, внедрение карт инновационной активности.

Конкуренция как соперничество между товаропроизводителями (промышленные предприятия) является естественным состоянием рыночных отношений. Конкуренция в области инновационной деятельности – это своего рода инновационный конкурс, в результате которого могут быть получены наиболее значительные результаты научно-технической деятельности.

Как правило, в рыночной экономике отношения между исследованием, производством и рынком очень сложны. Новые идеи тщательно проверяются, прежде чем разворачивается крупномасштабное производство. Происходит непрерывное повторение цикла «исследование-производство-продажа», приводящее к адаптации конструкции продукта и его характеристик, когда промышленные предприятия - производители работают над тем, чтобы сделать свою продукцию, обслуживающую специфический рынок, более эффективной.

Общая тенденция современной экономики – это ускорение морального старения любой продукции. Результаты НИОКР быстро устаревают по понятным причинам. Время, требующееся на создание нового продукта и выведения его на рынок, имеет постоянную тенденцию к сокращению. Однако временной фактор связан, прежде всего, с темпом инновационного процесса. Новая продукция не внедряется через сопротивление рынка, а интегрируется, если соответствует его требованиям. Если новый продукт планируется создать с потребительскими свойствами суммарно на 20-70% лучше, чем существующий на рынке, то предпочтение отдается предприятию, уже выпускающую аналогичную продукцию. Если новый продукт ожидается со значительно лучшими (в 2-3 раза и более) потребительскими свойствами, чем существующий, то продать технологию непросто. В этом случае целесообразно для подтверждения рыночных перспектив нового продукта использовать малое инновационное предприятие. Прикладные возможности новых результатов исследований и разработок привлекают перспективами огромных доходов, но с другой стороны, риск неудачи значителен. Высокий риск при создании новой продукции, оцененный в среднем на стадии НИР в 10-15%, на стадии ОКР – 25-35%, может быть уравновешен только значительным объемом рынка.

Практика показывает, что инновационный период создания и выведения на рынок опытной партии нового продукта требует инвестиций на уровне 1-2 млн. долларов. Такой объем трудно обеспечить в регионе и, как правило, нужно ориентироваться на международный рынок. Поэтому ожидаемый объем продаж, оправдывающий риск инвестиций в новый, пока еще не созданный, продукт, должен быть не менее 100 млн. долларов. Такой объем трудно обеспечить в регионе и, как правило, нужно ориентироваться на международный рынок.

Наиболее эффективной возможностью устранения негативных последствий и снижения уровня риска инновационной деятельности является управление рисками, включающее алгоритм принятия решения по отбору и анализу инновационных проектов.

Чтобы избежать возможных ошибок на стадии отбора проектов, необходимо проанализировать способы минимизации риска инновационной деятельности [2].

Один из таких способов – диверсификация инновационной деятельности. Диверсификация заключается в распределении усилий исследователей для осуществления разных инновационных проектов, непосредственно не связанных между собой. Другой способ минимизации риска инновационной деятельности – передача (трансферт) риска путем заключения контрактов.

Потери могут быть велики для стороны, передающей риск, но не значительны для сто-

роны, принимающей на себя риск. Выделяют причины, по которым передача риска выгодна как для передающей стороны, так и принимающей.

В условиях рыночных отношений приоритетными выступают экономические методы управления промышленным предприятием как системой. В зависимости от поставленной цели применяется та или иная модель управления, которая предполагает определенный метод решения задач – достижения цели.

Все стадии управления, начиная от выбора и принятия решения, и заканчивая выдачей управляющего воздействия на объект, представляет собой ситуационное оперативное управление. Акт ситуационного управления инновационной деятельностью осуществляется многошаговой процедурой по идентификации информации о текущей ситуации, преобразовании этой информации в вид, целесообразный для выбора и принятия решения, что позволяет выделить его многоцелевой характер, динамичность процессов, протекающих в системе адаптивность и превентивность, высокая материальная и социальная ответственность лица принимающего решение (ЛПР) за принимаемые решения. Для решения задач ситуационного управления инновационной деятельностью могут быть использованы различные модели: модель расчета базовых оценок экспертным путем, модель расчета базовых и текущих оценок путем представления их в виде нечетких интервалов, модель расчета текущих оценок с помощью функций риска на основе статистической вероятности.

Базовые оценки осуществляются, когда необходимо выявить наиболее весомые факторы (параметры) с точки зрения их информационности для принятия решения, а так же для выявления параметров, которые являются неконтролируемыми, но контроль за которыми является принципиально необходимым. Состояние всего контролируемого элемента в целом можно определить использованием функции риска в качестве текущих оценок.

Задача выбора с заданным критерием оптимальности в теории принятия решений интерпретируется как задача многоцелевого управления инновационной деятельностью. Особенно актуально для оперативного управления, что в данном случае не учитываются индивидуальные критерии. Адекватность критериев целям, которые ставят перед собой ЛПР, зависит количество и содержание типовых ситуаций, используемых в процедуре идентификации целей у ЛПР, представляется желание охватить как можно больший диапазон изменения ситуаций по каждой цели. Лицом, принимающим решение, заполняются таблицы-анкеты, которые представляют всю процедуру идентификации целей. В результате компьютерной обработки устанавливались критерии адекватности ответов стандартным операциям.

Качественными оценками текущей ситуации, а именно экономичностью режима работающего оборудования и его эксплуатационной надежностью всегда руководствуется лицо, принимающее решение.

Надежность и экономичность режимов работы оборудования делает необходимым, чтобы оценки по этим целям имели взаимно отработанную шкалу измерений: если максимальный уровень экономичности равен 1, то максимальный уровень надежности равен 0. Текущая ситуация с экономичностью и надежностью системы делает целесообразным назначение ограничению набора вариантов о качестве описания процесса управления инновационной деятельностью составом оборудования.

В сферу интересов лица принимающего решение попадают различные способы управления составом оборудования, причем право выбора конкретного управляющего решения остается за ним. Методологические принципы оперативного управления инновационной деятельностью позволяет представить ситуационное управление инновационной деятельностью в виде двух взаимосвязанных процессов – автоматического регулирования и управления (принятия решения). Эти принципы отражают многоцелевое управление инновационной деятельностью, стохастичность и неопределенность исходной информации.

Оценка информационной ценности контролируемых параметров в процессе принятия решения основана на методах и моделях получения формализации качественной информации об эксплуатационном состоянии оборудования, на экспертном, стохастическом и нечетком подходах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пригожин, А.И. Нововведения: стимулы и препятствия (социальные проблемы инноватики) / А.И. Пригожин. -Москва: Политиздат, 1989.
- 2 Джурабаев, К.Т. Проблемы современной организации промышленных предприятий: монография / К.Т. Джурабаев, А.Т. Гришин. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. -380 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модернизация промышленности, стимулирование развития промышленности, экономика инновационного типа, процессные инновации, карты инновационной активности, риск инновационной деятельности, диверсификация

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Джурбаева Гулнора Кахрамановна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Панарин Иван Иванович, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»
630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

ОПЫТ РАСЧЕТА МОТИВАЦИОННОГО ВОЗНАГРАЖДЕНИЯ РАБОТНИКОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

О.Ю. Волкова, О.В. Речкунова

EXPERIMENTAL ESTIMATION OF EMPLOYEES' INCENTIVE BONUS BASED ON DATA OF LOCAL INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEMS

Siberian state transport university
O.Yu. Volkova, O.V. Rechkunova

The application of local information and analytical systems together with the introduction of the process-oriented method of labour rating for estimation of employees' incentive bonus enables to solve a number of issues that arise when using the process-oriented method of labour rating in the business units of JSC «Russian Railways».

Keywords: labour wages, bonuses, railway transport, information system, labour motivation, budgeting

Применение локальных информационно-аналитических систем, при расчете мотивационного вознаграждения работников, в совокупности с внедрением попроцессного метода нормирования труда позволит решить ряд проблем, которые возникают при использовании пооперационного метода нормирования труда в структурных подразделениях ОАО «РЖД».

Корпоративная система оплаты труда (КСОТ) работников филиалов и структурных подразделений ОАО «РЖД» была разработана на базе анализа передового российского и зарубежного опыта с учетом специфики работы железнодорожного транспорта.

Основными элементами корпоративной системы оплаты труда работников ОАО «РЖД» являются:

- система оплаты тарифной части заработной платы, рассчитываемая на основе тарифных сеток по оплате труда рабочих и служащих, диапазонов должностных окладов специалистов и руководителей организаций холдинга;
- система компенсационных выплат, которая представляет собой выплаты работникам за работу в особых условиях труда;
- система стимулирующих выплат.

Выплаты стимулирующего характера представляют собой дополнительное денежное вознаграждение, выплачиваемое работникам в целях стимулирования эффективного труда, повышения качества производимой продукции и выполняемых работ, повышения уровня квалификации, проявления инициативы во внедрении передовых методов работы, а также поощрения стабильного высокопроизводительного труда и достижения высоких результатов деятельности. Выплаты стимулирующего характера могут производиться в следующих формах:

- надбавки, установленные в виде процента от оклада или тарифа или в виде фиксированной суммы и предоставляемые работникам на ежемесячной основе, или на период выполнения конкретных работ;
- премирование за основные результаты деятельности, осуществляемое на регулярной основе (ежемесячной, ежеквартальной, полугодовой и/или ежегодной), размер которого зависит от выполнения установленных показателей эффективности деятельности;
- премирование по специальным системам (дополнительные виды материального стимулирования) за особые достижения.

Премирование за основные результаты деятельности направлено на стимулирование выполнения работниками установленных количественных и качественных показателей деятельности, повышения эффективности и качества работы улучшения результатов производственно-хозяйственной деятельности. В ОАО «РЖД» действует трехуровневая система премирования за основные результаты деятельности.

I уровень – условия, определяющие право работников организаций холдинга на получение премии.

II уровень – показатели премирования, характеризующие ключевые задачи, позволяющие оценивать результативность производственно-хозяйственной и экономической деятельности организации холдинга (регионального структурного подразделения, структурного подразделения) в целом.

III уровень – показатели премирования, характеризующие результативность индивидуальной деятельности группы работников и/или работника, позволяющие оценивать конечные результаты труда группы работников и (или конкретного работника).

Система показателей премирования разрабатывается самостоятельно организациями холдинга, при этом показатели должны быть:

- конкретными, достижимыми, определенными во времени и измеримыми;
- установленными исходя из целей и задач организации в целом, обеспечивая каскадирование целей и задач организации на все уровни управления организации;
- мотивирующими работников к достижению высоких результатов индивидуальной деятельности, сохраняющими при этом нацеленность на общекорпоративный результат.

Премия работнику рассчитывается за выполнение каждого показателя премирования в отдельности. При невыполнении одного из показателей премирования соответствующая часть премии не начисляется. В целях обеспечения мотивационного эффекта необходимо, чтобы для рабочих профессий размер премиальных выплат в большей степени зависел от выполнения ими показателей III уровня. Проблемы разработки показателей, обеспечивающих максимальное мотивирующее воздействие на работника, учитывающих как количественные, так и качественные показатели производственного процесса, явилось актуальной задачей для всех структурных подразделений ОАО «РЖД», и особенно для предприятий инфраструктуры холдинга, в том числе для предприятий, осуществляющих техническое обслуживание и подготовку под погрузку грузовых вагонов.

Результаты применения корпоративной системы оплаты показали ее высокую эффективность, повышение заинтересованности работников в результатах труда. КСОТ позволила создать гибкие механизмы регулирования и контроля в области оплаты труда.

В процессе экспериментального внедрения на тридцати пяти пунктах технического обслуживания (ПТО) дороги новой системы оплаты и премирования труда в качестве показателей премирования третьего уровня были приняты измерители: коэффициент интенсивности труда смены; коэффициент индивидуального вклада работника. Методика расчета этих коэффициентов подробно рассмотрена в трудах ученых инженерно-экономического факультета СГУПС [1, 2].

Транспарентный расчет этих коэффициентов ведется в информационно-аналитической системе (ИАС) «Бюджетирование прямых затрат», которая позволила в реальном режиме времени учитывать все виды работ и конкретного исполнителя, выполняемые на конкретном вагоне работником ПТО или механизированного пункта подготовки вагонов (МППВ).

Эффекты, полученные от внедрения ИАС «Бюджетирование прямых затрат», уже на протяжении ряда лет не теряют своей актуальности. Вот лишь некоторые из них:

- адресный подход к мотивационному фонду позволил уйти от шаблонного распределения премии между работниками по итогам выполнения количественных и качественных показателей премирования;
- возможность экономического обоснования фактического использования средств базового премиального фонда и прогнозируемого премиального фонда при планировании методом «от достигнутого» с корректировкой на объемные показатели;
- актуализация норм времени и расширение перечня выполняемых работ, с учетом реальной трудоемкости технологических операций на вагоне и степени износа подвижного состава, выполняющего грузовые перевозки, дает возможность оценить эффективность использования трудовых ресурсов;
- персонализированный учет затрат труда работника и объема выполненных им работ на конкретном вагоне позволил повысить степень ответственности за качество ремонта и обслуживания грузовых вагонов;
- синергетическим эффектом от внедрения ИАС «Бюджетирование прямых затрат ПТО» можно назвать адресность прямых затрат труда при расчете себестоимости ремонта одного вагона для собственников подвижного состава.

На сегодняшний день часть показателей, необходимых для расчета процента премиро-

вания автоматически рассчитывается в системе ЕКАСУТР, такие как, показатели работы станции, прием, отправление, отсутствие отцепок, экономические показатели работы структурного подразделения, но часть показателей, учитывающих адресность работ на вагоне, содержится только в ИАС «Бюджетирование прямых затрат ПТО». Поэтому в 2014 году возникла необходимость совершенствования ИАС под новые реалии вертикально-интегрированного холдинга.

НИЛ «Экономика транспорта» СГУПС, при непосредственном участии авторов, была произведена актуализация базы пооперационных затрат труда. В рамках технологического аудита норм затрат труда и материалов были актуализированы нормы для 15% работ по техническому обслуживанию вагонов. Результаты были внедрены в успешно функционирующую на 36 ПТО грузовых вагонов ИАС «Бюджетирование прямых затрат ПТО и МППВ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дементьев, А.П. Локальная информационная система оценки качества работы ПТО и МППВ / А.П. Дементьев, В.Д. Макогон, Д.Н.Лосев // Вагоны и вагон. хоз-во. -2008. -№1. -С. 39-41.
- 2 Макогон, Д.В. Экономическое значение повышения качества обслуживания грузовых вагонов : в институтах и лабораториях / В.Д. Макогон О.В. Речкунова // Вестн. ВНИИЖТ : науч.-техн. журн. -2006. -№ 6. -С. 35-38.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *оплата труда, премирование, железнодорожный транспорт, информационные системы, мотивация труда, бюджетирование*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Волкова Ольга Юрьевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Речкунова Ольга Владимировна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕЙСКУРАНТА ЦЕН НА РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

И.Н. Спицына, И.В. Филатов

ON THE TOPIC OF MAKING OF THE PRICE LIST ON DETAILS MAINTENANCE UNDER REPAIRS AT MOTOR CARRIAGE ROLLING STOCK
Siberian state transport university
I.N. Spitsyna, I.V. Filatov

Improvement of transparency of mutual payments between motor carriage depots and suburban passenger companies requires a detailed costs analysis in secondary shops.

Keywords: cost calculation, motor carriage rolling stock, price list, auxiliary shops

Повышение прозрачности взаиморасчетов между моторвагонными депо и пригородными пассажирскими компаниями требует детального анализа затрат, возникающих во вспомогательных цехах.

В ходе структурной реформы железнодорожного транспорта России его территориально-функциональная система управления преобразована по видам деятельности с созданием и реорганизацией соответствующих структурных подразделений.

На текущем этапе реформы формируется рынок ремонта и обслуживания подвижного состава, выделяются центры ответственности: производители и потребители ремонтных услуг.

Основные клиенты депо – арендаторы электропоездов, дочерние компании ОАО «РЖД» – ОАО «Экспресс-пригород», ОАО «Кузбасс-Пригород».

В настоящее время техническое обслуживание и ремонт подвижного состава осуществляется в рамках договора на аренду подвижного состава с экипажем. При появлении у пригородных пассажирских компаний собственного подвижного состава мотор-вагонные депо будут оказывать услуги только по техническому обслуживанию и ремонту. Тогда необходимость прозрачного учета затрат станет востребованной не только для управления затратами (принятия управленческих решений), но и станет основой для взаиморасчетов между депо и пассажирскими пригородными компаниями (ППК).

Рассматривая текущее состояние учета затрат можно сказать, что в ходе взаиморасчетов между депо и ППК, уже сегодня, возникает необходимость обоснования стоимости ока-

зываемых услуг [1, 2]. При этом стоит отметить, что в общей структуре расходов, наблюдается высокий процент накладных издержек – согласно отчётной форме 7-у предприятие доля накладных расходов по Дирекции мотор-вагонного подвижного состава в части оказания услуг по ремонту сторонним компаниям составляет от 46 до 51%.

Такой результат, в частности может объясняться и тем, что затраты вспомогательных цехов и подсобных производств относятся на накладные расходы.

В настоящее время ведется исследование по выделению затрат труда и материалов, возникающих во вспомогательных цехах, подсчёту их себестоимости для того, чтобы через метод трансфертных цен учитывать их по статье «Материалы» в прямых расходах. Это позволит значительно сократить объём накладных расходов и сделать более прозрачной калькуляцию себестоимости, повысить транспортность всех затрат.



Рисунок 1 – Сложившаяся структура затрат с предлагаемыми усовершенствованиями

Объектом исследования принят цех по ремонту электроаппаратуры и запасных частей, отделение пайки. Особенностью этого отделения является то, что помимо непосредственного выполнения объёмов работ в рамках ТО-3 и ТР-1, имеет место изготовление новых деталей из нескольких частей неремонтопригодных узлов, что, по классификации, относится к объёмам работы в рамках ТР-3.

В данном цехе ремонтируется 11 типов дугогасительных камер и 10 видов контакторов. Стоимость, например, новой камеры варьируется от 2396 до 16589 рублей. При этом в депо не налажен механизм учёта движения камер между основным цехом и вспомогательным цехом по ремонту электроаппаратуры. А значит, невозможно отследить, на какие электропоезда устанавливаются новые камеры, а на какие – бывшие в эксплуатации.

Согласно данным информационно-аналитической системы «Пригород-Финанс» (ИАС), при ТО-3 и ТР-1 за период с 19 февраля по 19 марта всего на обслуживаемых электропоездах было заменено 562 камеры. Это, во-первых, позволяет сделать вывод, что сумма затрат, подлежащая анализу, велика, а во-вторых, показывает, насколько могут варьироваться реальные затраты в зависимости от типа и состояния детали.

В настоящий момент в цехе разработана норма на ремонт детали в целом, без разложения по операциям, к тому же, не учтена разница в объёме ремонта.

Составление трансфертной цены для Прейскуранта предполагает учёт затрат труда и материалов, при определенной норме рентабельности.

Для учёта используемых ресурсов в части затрат труда планируется разработка методом хронометража пооперационных норм на выполнение ремонта узлов и деталей электропоезда в исследуемом цехе, разделение ремонта, в зависимости от объёма, на три класса.

Первый класс включает в себя первичное восстановление детали без разбора. Второй класс подразумевает разбор детали, замену и восстановление её частей. Третий класс

предполагает сбор из двух и более неремонтопригодных деталей одной, пригодной для использования.

В части материальных затрат предполагается оценка среднего по классам ремонта количества используемых расходных материалов с занесением их стоимости в цену восстановления узла или детали.

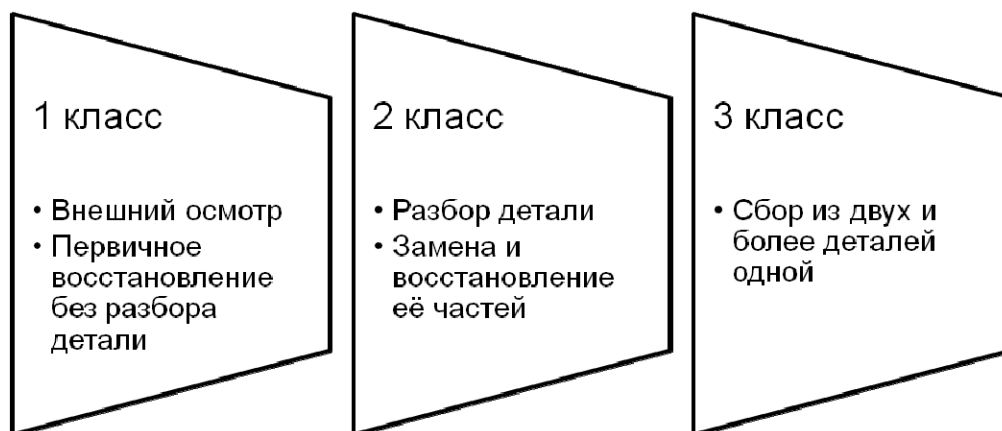


Рисунок 2 – Предлагаемая классификация ремонта детали

В ходе разработки Прейскуранта будет предложена средняя норма рентабельности для ремонта пригородного подвижного состава 1%.

Эта методика позволит посчитать цену детали в повторном использовании, внести ясность в бухгалтерский и управленческий учёт, отражая материалы и детали по соответствующим статьям прямых затрат, а не распределяя их на основное производство.

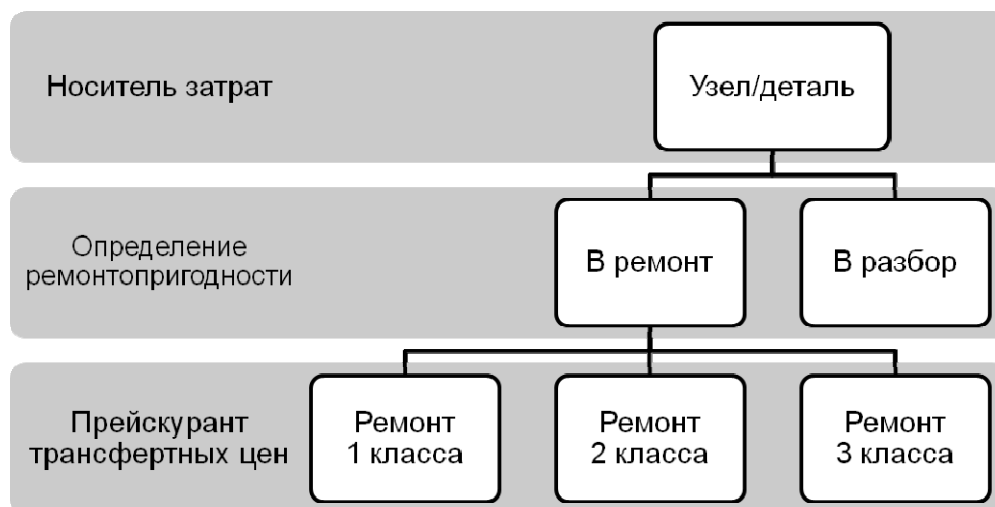


Рисунок 3 – Система попадания узла или детали в ремонт и применение в ней Прейскуранта на ремонт и восстановление неномерных деталей в процессе ремонта МВС

Вся совокупность трансфертных цен, разработанных таким методом, составит Прейскурант на выполнение работ в исследуемом цехе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лунина, Т.А. Формирование цен при взаиморасчетах с ремонтными подразделениями железных дорог / Т.А. Лунина // Вестн. ВНИИЖТ : науч.-техн. журн. -2006. -№ 6. -С. 39-41.

2 Спицына, И.Н. Совершенствование организации учета затрат материалов при техническом обслуживании и ремонте моторвагонного подвижного состава / И.Н. Спицына, А.Ю. Абраменко // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока: науч. журн. -2013. -№ 2. -С. 65-68.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: калькуляция себестоимости, мотор-вагонный подвижной состав, прейскурант, вспомогательные цеха

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Спицына Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Филатов Илья Владимирович, студент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ВОСТОКЕ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Е.А. Корховая

SUBSTANTIATION OF BUSINESS ACTIVITY IN THE EASTERN RUSSIA
Siberian state transport university
E.A. Korkhovaya

The article describes directions of business activity for small businesses. On the example of the development of the timber industry manufactures. The ways and means how to expand the range of commercial products for competitiveness of small businesses in the consumer market are settled.

Keywords: small business, production of the timber industry, eastern regions of Russia, consumer market, competitiveness of commercial products

Рассматриваются направления предпринимательской активности, на примере развития производств лесопромышленного комплекса обосновываются пути и средства расширения номенклатуры товарной продукции для достижения конкурентоспособности предприятий малого бизнеса на потребительском рынке.

Неоднозначная экономическая ситуация, сложившаяся в стране в настоящее время, требует поиска путей дальнейшего хозяйственного развития, определения своеобразных «точек роста» российской экономики. Устойчивое экономическое развитие и конкурентоспособность на потребительском рынке увязываются воедино многими учёными и практиками [1-3], и это непреложный факт. Исследовательская задача состоит в том, чтобы, во-первых, определить и обосновать товарную продукцию, производство которой является одновременно неубыточным для производителя и конкурентоспособным товаром на потребительском рынке. Во-вторых, обосновать способы расширения производства данной группы товаров. В-третьих, определить источники средств, направляемых на осуществление этой деятельности, использование которых будет юридически законным и экономически оправданным.

Одним из видов товарной продукции, отвечающей названным требованиям, является продукция лесопромышленного комплекса (ЛПК). Основной производственный ресурс комплекса – лесные массивы. По данным Рослесхоза общий запас древесины в стране за период 2008-2013 гг. претерпел незначительные изменения и к началу 2014 г. составил 83,0 млрд. м³. Производство необработанной древесины за тот же период выросло на 20,2%, и показатель составил 120,4 млн. плотных кубических метров [4]. Расчёт показывает, что ежегодный объём производства необработанной древесины за период 2008-2013 гг. составил всего 0,15% от общего запаса древесины в РФ. Следовательно, отечественный ЛПК вполне можно отнести к числу производств, независимых от импорта сырья для своей деятельности. В ещё большей степени обеспечено отечественным сырьём лесопромышленное производство в регионах Урала, Сибири и Дальнего Востока. Сведения, характеризующие вклад названных регионов в лесопромышленные ресурсы России, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Лесные ресурсы Урала, Сибири и Дальнего Востока и их использование

Регионы России	Площадь земель, покрытых лесом, тыс. га	Лесистость территории, %	Общий запас древесины, млн. м ³	Производство древесины необработанной тыс. плотных куб. метров
Россия	755257	46,5	83013,4	120400
Уральский ФО	69470	38,2	8129,6	4219
Сибирский ФО	277023	53,8	33452,9	40107
Дальневосточный ФО	295673	47,9	20642,1	11097

В совокупности в данных регионах покрытые лесом земли составляют около 85% от общероссийского показателя. Запас древесины равен 75%, а производство древесины в среднем составляет 46% от соответствующих общероссийских значений. При этом объём производства необработанной древесины в Уральском и Дальневосточном ФО составляет лишь треть общероссийского показателя, и только в Сибирском ФО объём производства ра-

вен 0,12% от показателя общего запаса древесины в регионе. Таким образом, в регионах имеются достаточные как ресурсные, так и производственные условия для развития лесопромышленного комплекса.

В настоящее время производства ЛПК в основном представлены механической и химической переработкой древесины. Предложение потребительского рынка в 2014 г. отражают показатели, приведённые в таблице 2.

Таблица 2 – Товарная продукция ЛПК Урала, Сибири и Дальнего Востока

Регионы России	Производства лесопромышленного комплекса			
	лесоматериалов, тыс. м ³	фанеры из листов древесины, тыс. м ³	целлюлозы, тыс. т	бумаги и картона, тыс. т
Россия	21744	3329	7211	7787
Уральский ФО	917	317	35,1	45,1
Сибирский ФО	8510	270	1727	357,2
Дальневосточный ФО	1686	0,3	-	24,0

В совокупности на долю ЛПК регионов приходится более 50% общероссийского производства пиломатериалов; 17,6% производства фанеры; 24,4% производства целлюлозы и 5,5% производства бумаги и картона. По механической переработке древесины выпуск продукции превышает 11,7 млн. м³, по химической – 2188 тыс. т. Спрос регионального потребительского рынка в основном формируют пиломатериалы, совокупный объём которых по ввозу-вывозу продукции составляет 456 тыс. км³, или около 4,0% современных возможностей перерабатывающих производств. Сведения по ввозу-вывозу продукции ЛПК собственного производства приведены в таблице 3.

За отмеченный период изменение спроса на продукцию ЛПК в пределах региона составило менее 0,6%. Вместе с тем, в СФО спрос возрос почти на 28%, в ДФО – на 9,2%. Это позволяет констатировать востребованность

Таблица 3 – Пиломатериалы регионального потребительского рынка, тыс. м³

Регионы России	2010 г.		2014 г.	
	ВВОЗ	ВЫВОЗ	ВВОЗ	ВЫВОЗ
Уральский ФО	115,6	77,3	45,6	50,1
Сибирский ФО	72,8	164,6	118,0	211,4
Дальневосточный ФО	13,8	14,5	25,9	5,0
ВСЕГО	202,2	256,4	189,5	266,5

производимой продукции (пиломатериала) на внутренних рынках двух федеральных округов и свидетельствует в пользу конкурентоспособности данной товарной продукции на потребительском рынке в целом. Доля регионов Урала, Сибири и Дальнего Востока в экспортных поставках из России древесины и целлюлозно-бумажных изделий составляет 46%, в то время как импортная составляющая этих регионов в товарной структуре внешней торговли РФ по аналогичной позиции – всего 5,9%. Таким образом, первую поставленную задачу можно считать обоснованной.

Вторая задача связана с расширением производств данной группы товаров. В настоящее время в отрасли «Лесное хозяйство» функционируют десятки тысяч предприятий, свыше 90% из них – это предприятия частной формы собственности, до 70% из которых – малые и микропредприятия. Подобное соотношение позволяет сделать вывод, что по данному виду экономической деятельности экономическая конъюнктура в основном представлена малым бизнесом [5].

Малый бизнес в нашей стране в сравнении с развитыми странами - достаточно молодое явление. Тем не менее, малый бизнес, как экономический институт в реалиях российской экономики, сформирован и уже обладает рядом достоинств и недостатков. Большинство учёных [6, 7] и специалистов-исследователей [8-10] отмечают следующие преимущества малого бизнеса:

- маневренность, как быструю реакцию на изменение спроса на товарную продукцию либо услугу, или на рыночную ситуацию в целом;
- гибкость, или возможность удовлетворения индивидуального, подчас эксклюзивного спроса на товар, услугу или группу товаров либо услуг;
- предприимчивость, т.е. возможность быстро реализовывать в рамках предприятия любое начинание, инициативу.

Недостатки или «слабые стороны» малого бизнеса специалистам видятся в том, что

производственная деятельность на предприятиях во многом ведётся согласно интуиции, поскольку возможность оценки, например, рисков при осуществлении инвестиционных проектов, фактически отсутствует, в силу дороговизны этого мероприятия. Кроме того, специалистами отмечается недостаточная поддержка малого бизнеса со стороны государственных структур, низкие шансы при получении государственного заказа. Большинство самих предпринимателей подчёркивается необходимость наличия достоверной информации о реальной конъюнктуре рынка, об ожидаемом уровне инфляции и других сведений, определяющих условия функционирования предприятия в рыночной среде. Конкурентоспособность, как фактор «живучести» предприятия на рынке достигается за счет снижения издержек различного рода - бухгалтерских, складских, рекламных, затрат на управление. Эта особенность ведения малого бизнеса отмечается как непосредственно предпринимателями, так и специалистами, занимающимися научными исследованиями [11-13].

Предприниматели, работающие в сфере лесного хозяйства, чей малый бизнес связан с лесозаготовительными, деревообрабатывающими работами и производством пиломатериалов отмечают, что интуитивное ведение бизнеса для малых предприятий не стоит рассматривать как однозначный недостаток. Слабая возможность оценки инвестиционных проектов в период экономического спада присуща и крупному бизнесу. Поэтому предпринимательская деятельность на интуитивном уровне во время меняющейся экономической ситуации, связанной с кризисными явлениями в обществе, вполне может рассматриваться преимуществом для малого бизнеса [14, 15]. Следовательно, маневренность, гибкость и предприимчивость, объективно присущие малому бизнесу и дополненные интуитивностью, в целом усиливают его достоинства, как организационной формы хозяйственной деятельности, при которой действенность различных способов расширения производства может проявиться в полной мере. Таков общий подход к обоснованию второй поставленной задачи.

Сущность третьей задачи заключается в определении источников средств, направляемых на расширение производства и дальнейшее осуществление предпринимательской деятельности. Пути решения этой задачи состоят в следующем. Правительством Российской Федерации разработана система мер поддержки малого бизнеса в условиях нестабильной экономической ситуации [16-18]. Это экономические меры, обеспечивающие доступ малых компаний к закупкам естественных монополий и компаний с государственным участием; внедрение льгот малому бизнесу посредством субсидирования процентных ставок по кредитам; дополнительные меры поддержки компаниям различных организационных форм, создающим новые рабочие места и т.д. Таким образом, в прогнозе Минэкономразвития социально-экономического развития страны со стороны государства определены основные направления поддержки малого бизнеса. Одной из форм государственной поддержки малого бизнеса на региональном уровне является микрофинансирование или займы финансовых средств предприятиям – коммерческим организациям и индивидуальным владельцам бизнеса - занимающимся предпринимательской деятельностью в сфере производства. Это явление не относится к числу новаций в поддержке малого бизнеса. Ещё в 2006 г. за усилия в развитии микрокредитования М. Юнусу (Бангладеш), банкиру и экономисту, была присуждена Нобелевская премия мира. Концепция микрофинансирования получила развитие в регионах России. В частности, в Новосибирской области создан и действует Фонд микрофинансирования. Данный фонд является некоммерческой организацией, основной целью которой является оказание поддержки малому бизнесу. Финансирование осуществляется за счёт средств федерального и областного бюджетов. Предметом для оформления заявки могут являться различные обоснованные затраты, связанные с организацией и ведением производственной деятельности. К их числу можно отнести приобретение товарных запасов и расширение ассортимента реализуемой продукции; приобретение транспортных средств, оборудования, включая компьютерную технику и программное обеспечение; либо другого оборудования, использование которого необходимо и экономически оправданно для нормального функционирования предприятия.

Основой для оформления заявки служат типовые финансово-экономические документы, представление которых не вызывает особой сложности. В частности, нормативные сведения о регистрации предприятия в региональной налоговой организации, сведения из обслуживающих предприятие кредитных организаций о его финансовой деятельности, технико-экономическое обоснование займа и его возвратности. Специалисты фонда оценивают хозяйственную деятельность и состоятельность предприятия-заёмщика, и предоставляют финансовые средства.

Подобные фонды микрофинансирования организованы в ряде субъектов федерации Уральского, Сибирского и Дальневосточного ФО и ведут свою деятельность в рамках общей государственной стратегии поддержки малого бизнеса. Мы сравнили условия предоставления займов по фондам микрофинансирования, действующим в ХМАО-Югре (Уральский ФО), НСО (Сибирский ФО) и по Камчатскому государственному фонду поддержки предпринимательства (Дальневосточный ФО) [19-21]. Суммы займов – до 1 млн. руб. и сроки пользования – до 36 месяцев – по исследуемым регионам совпадают. Незначительные различия отмечаются в процентных ставках, предлагаемых заёмщикам. Так, в ХМАО-Югре величина ставки составляет от 4,125% или 1/2 ставки рефинансирования Центрального банка России до 14,0%, в зависимости от категории заёмщиков. В Камчатском крае эта величина составляет от 8,0% до 10,0% в зависимости от размера займа. В настоящее время самый выгодный процент по кредиту для заёмщиков, не входящих в категорию льготных, предлагает фонд микрофинансирования Новосибирской области. Размер процентной ставки в фонде НСО приравнен к ставке рефинансирования ЦБ и составляет 8,25%.

Нами рассмотрен один из юридически законных и экономически оправданных способов получения дополнительных (заёмных) средств для расширения производства продукции лесопиления и деревообработки. Тем самым решена третья исследовательская задача.

Таким образом, продукция лесопромышленного производства, способы её изготовления и формы реализации наглядно отражают актуальные направления для перспективного хозяйственного развития России и её регионов. В современных экономических условиях, когда хозяйствующим субъектам необходимо увязывать стратегические ориентиры своего развития с, так называемой, «санкциональной» составляющей бизнеса, лесопромышленный комплекс, и все производства его формирующие, способны увеличить долю своего участия на внутрироссийском товаропроводящем рынке, где весь производственный цикл, «от круглого леса до деревянной пуговицы», имеет отечественную сырьевую базу.

Рассмотренные в статье подходы к обоснованию направлений производственной предпринимательской активности в восточной части России отражают имеющийся ресурсный и сложившийся организационно-хозяйственный потенциал региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Калюжнова, Н.Я. Концепция устойчивого развития и конкурентоспособность хозяйственных систем / Н.Я. Калюжнова // Науч. тр. ИМЭИГУ. Сер. Экономика. -Иркутск, 2000. -С. 109-120.
- 2 Азоев, Г.Л. Конкуренция: анализ, её стратегия и практика / Г.Л. Азоев. -Москва: Центр экономики и маркетинга, 2002. - 208 с.
- 3 Кантор, В.Е. Менеджмент / В.Е. Кантор, Г.А. Маховикова. -Москва: Эксмо, 2009. -208 с.
- 4 Регионы России. Социально-экономические показатели. 2013: стат.сб. / Росстат. -Москва, 2013. -990 с.
- 5 Таблица 1.3, 12.1 [Электронный ресурс] // Малое и среднее предпринимательство в России, 2013. -Режим доступа: gks.ru.
- 6 Каплан, Р. Организация, ориентированная на стратегию: пер. с англ. / Р. Каплан, Д. Нортон. -Москва: Олимп-Бизне, 2003. -416 с.
- 7 Портер, М. Конкурентная стратегия: методика анализа отраслей и конкурентов: пер. с англ. / М. Портер. -Москва: Альпина Паблишерз, 2011. -454 с.
- 8 Гельвановский, М.И. Конкурентоспособность в микро-, мезо- и макроуровневом измерениях / М.И. Гельвановский // Рос. экон. журн. -1998. -№3. -С.67-68.
- 9 Волков, Д.В. Алгоритм управления конкурентными преимуществами предпринимательских структур / Д.В. Волков // Социал.-экон. явления и процессы. -2012. -№2. -С. 34-37.
- 10 Радулов, Д.Д. Теоретические подходы к исследованию проблемы классификации факторов конкурентоспособности предприятия / Д.Д. Радулов // Рос. предпринимательство. -2013. -№13. -С.15-22.
- 11 Яновский, А.М. Конкурентоспособность товара и производителя продукции в системе рыночной экономики / А.М. Яновский // Стандарты и качество. -1997. -№2. -С. 43-44.
- 12 Мансуров, Р.Е. Об экономической сущности понятий «конкурентоспособность предприятия» и «управление конкурентоспособностью предприятия» / Р.Е. Мансуров // Маркетинг в России и за рубежом. -2006. -№2(25). -С.91-94.
- 13 Зайцев, А.В. Управление устойчивым развитием лесного комплекса региона: автореф. дис. ...канд. экон. наук / А.В. Зайцев. -Красноярск, 2009. -23 с.
- 14 Русский лес: спасти и сохранить ... [Электронный ресурс]. -Режим доступа: [http:// www.tpp-inform.ru](http://www.tpp-inform.ru).
- 15 // Российская газета. -2014. -№ 281 (10 дек.). -Режим доступа: www.rg.ru;
- 16 Федеральный портал малого и среднего бизнеса [Электронный ресурс]. -Режим доступа: [http:// smb.gov.ru/ measure-support/ programs/](http://smb.gov.ru/measure-support/programs/).
- 17 Режим доступа: [http:// www.rg.ru/ 2014/ 11/ 21/ biznes-site.html](http://www.rg.ru/2014/11/21/biznes-site.html).
- 18 Режим доступа: [http:// www.consultant.ru/ popular/ o_ razviti_malogo_i_srednego_predprinimatelstva_v_rossijskoj_federacii](http://www.consultant.ru/popular/o_razviti_malogo_i_srednego_predprinimatelstva_v_rossijskoj_federacii).
- 19 Режим доступа: [https:// www.microfund.ru/](https://www.microfund.ru/) .
- 20 Режим доступа: [http:// kamfond.ru/](http://kamfond.ru/) .
- 21 Режим доступа: [http:// fundmicro86.ru/](http://fundmicro86.ru/) .

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *малое предпринимательство, производства лесопромышленного комплекса, восточные регионы России, потребительский рынок, конкурентоспособность товарной продукции*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Корхова Елена Александровна, канд. экон. наук, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ТОРГОВЫЙ ФЛОТ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Г.В. Веселов, В.И. Минеев, М.А. Шишкина

ON ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF INVESTMENTS IN THE MERCHANT MARINE IN THE CONTEXT OF GLOBALIZATION

Volga state academy of water transport

G.V. Veselov, V.I. Mineev, M.A. Shishkina

This article dwells on the impact of water transport operation on the development of enterprises of related sectors of the economy.

Keywords: water transport, efficiency, competitiveness, shipping companies, multiplicative effect

Рассматривается влияние функционирования водного транспорта на развитие предприятий сопряженных отраслей народного хозяйства.

В условиях глобализации идет острая борьба за ниши на мировых и национальных рынках не только между предприятиями, крупными компаниями, но и государства принимают непосредственное участие в продвижении собственной продукции на мировые рынки, используя различные формы, методы, рычаги, включая дипломатическое давление и даже военное вмешательство.

Огромное значение в международной торговле играет морской транспорт, который является основным грузовым транспортом в мире, осуществляющим 98% всех внешнеторговых перевозок в Англии и Японии, 90% – в США, 94% – в Греции и Испании, 88% – в Финляндии и Норвегии [1].

Развитые страны уделяют большое внимание рынку транспортных услуг. США открыто и жестко защищают своих судовладельцев. Почти 50% экспортно-импортных перевозок грузов закреплено за торговым флотом США. Каботажные перевозки осуществляются только на судах, построенных в США, и принадлежащих гражданам США или эксплуатируются под флагом США. Такие меры позволяют американским судовладельцам прогнозировать свое развитие на перспективу, размещать заказы на строительство флота.

Свои внутренние (национальные) рынки транспортных услуг различными методами защищают и поддерживают такие страны как Германия, Нидерланды, Франция и др. [4-6].

Морским флотом под флагом России на сегодняшний день осваивается всего 3% собственной грузовой базы. Следует отметить, что в СССР морским флотом осваивалось более 60% своих грузопотоков [3].

Доставка внешнеторговых грузов внутренним водным транспортом из пунктов Волжско-Камско-Каспийского бассейна в иностранные порты Балтийского моря в бесперевалочном сообщении в судах смешанного река-море плавания по уникальному водному коридору в 7000 км практически свернута. Одной из главных причин такого состояния внешнеторговых перевозок является снижение эффективности и конкурентоспособности судоходных компаний из-за высоких налогов и их количества, что и привело к потере ниш на рынке транспортных услуг и, следовательно, к сокращению потребности в транспортных судах, к прекращению их строительства. Так, за время перестройки только налог на имущество был увеличен с 0,1% до 2,2%, то есть в 22 раза [2, 7].

Предпринятые Минтрансом РФ меры по снижению налогового бремени с судоходных компаний (ФЗ-168 от 20.12.2005 г. и ФЗ-305 от 07.11.2011 г.) отчасти реанимировали водные перевозки и судостроение в стране. За короткий период с 2010 г. по 2014 г. было построено только 97 единиц транспортных судов.

Оценка эффективности инвестиций в водный транспорт, особенно во внешнеторговые перевозки, без учета методических рекомендаций Госстроя России, Минэкономики РФ, Минфина РФ, Госкомпрома России от 2000 г. по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования, привела к ошибочной оценке роли водного транспорта в экономике страны, к свертыванию водных перевозок и строительства флота вопреки мировым тенденциям. Однако ни в методических рекомендациях, ни в научных публикациях не приведены методы по определению бюджетного или народнохозяйственного эффекта в сопряженных с водным транспортом или сопутствующих отраслях, а он между

тем является весьма крупным потребителем энергоресурсов, металла, различного оборудования и непосредственно способствует развитию не только судостроительной, но и нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, а также металлургической и машиностроительной промышленности. Для определения мультипликативного эффекта от функционирования транспорта косвенный эффект от деятельности сопряженных отраслей добывающей, металлургической или машиностроительной промышленности предлагается следующее выражение

$$F_{сп} = \frac{K \gamma_m \varphi (H_{ндфл} + H_{есн}) m}{100}, \text{ млн. руб.}$$

где K – строительная стоимость судна, млн. руб.;

γ_m – удельный вес в расходах материалов или оборудования;

φ – доля оплаты труда работников соответствующей отрасли;

$H_{ндфл}$ – величина налога на доходы физических лиц, %;

$H_{есн}$ – величина страховых взносов, %;

m – количество судов.

Косвенный эффект от деятельности сопряженных предприятий нефтедобывающей или нефтеперерабатывающей промышленности определяется по выражению

$$F_2 = m q_c \tau_x t_3 T (1+k) (1+k_{есп}) \omega \zeta, \text{ млн. руб.}$$

где q_c – суточный расход топлива в ходу, т/сут.;

τ_x – коэффициент использования времени на ход;

t_3 – период эксплуатации, сут.;

T – количество навигаций;

k – коэффициент, учитывающий расход топлива на стоянке;

$k_{есп}$ – коэффициент, учитывающий расход топлива по вспомогательному флоту;

ω – доля налогов бюджет от сопряженных предприятий нефтеперерабатывающей промышленности;

ζ – цена топлива, тыс. руб./т.

Результаты исследований показали, что функционирование водного транспорта даже при современной организации перевозок содействует развитию предприятий сопряженных отраслей народного хозяйства, продвижению продукции этих предприятий на международные рынки и, в конечном итоге, способствуют подъему экономики страны, увеличению занятости населения. Так, одно рабочее место на флоте требует создания 5 рабочих мест на предприятиях сопряженных отраслей.

В условиях мировой тенденции роста производительности труда наблюдается значительная безработица в мире, а также и в России. Такая тенденция с ростом безработицы создает социально-политическую напряженность в обществе.

Создание Российской морской регистр судоходства (РМРС) позволило за относительно короткий срок увеличить численность работников, занятых на транспорте и на предприятиях сопряженных отраслей промышленности, на 74 595 человек и получить интегральный эффект в размере 14,6 млрд. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лукьянович, Н.В. Морской транспорт в мировой экономике / Н.В. Лукьянович. -Москва: МОРКНИГА, 2009. -162 с.
- 2 Волостнов, Н.С. Воспроизводство основных фондов на транспорте: новые подходы / Н.С. Волостнов // Вестн. трансп. Поволжья. -2014. -№1. -С. 69-72.
- 3 Итоги реформирования, проблемы и перспективы развития водного транспорта России / Г.В. Веселов, В.И. Минеев, с.В. Костров, М.А. Шишкина // Вестн. трансп. -2015. -№3.-С. 2-5.
- 4 Иноземцев, В. Будущее России -в новой индустриализации / В. Иноземцев // Экономист. -2010. -№1. -С. 20-29.
- 5 Карманова, М.Е. Благородный суицид государства / М.Е. Карманова // ЭКО. -2010. -№7. -С. 44-54.
- 6 Киселев, И.П. Китайское ускорение / И.П. Киселев // Трансп. Рос. Федерации. -2011. -№1 (32). -С. 13-15.
- 7 Минеев, В.И. Об экономической оценке конкурентоспособности новых транспортных средств / В.И. Минеев, М.А. Шишкина // Реч. трансп. (XXI в.). -2014. -№4 (69). -С. 30-31.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *водный транспорт, эффективность, конкурентоспособность, судоходные компании, мультипликативный эффект*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Веселов Геннадий Васильевич, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВО «ВГАВТ»*
Минеев Валерий Иванович, докт. техн. наук, профессор, президент ФГБОУ ВО «ВГАВТ»
Шишкина Мария Александровна, аспирант ФГБОУ ВО «ВГАВТ»

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

СИСТЕМНОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Н.Н. Путилова

SYSTEMIC ECONOMIC LOSS OF TRANSPORT COMPANIES IN CRISIS

Siberian state university of water transport

N.N. Putilova

Examines the manifestation of the crisis in the activities of the transport industry, provides statistics of water transport, discusses the requirements for the development of anti-crisis measures and ways to overcome the crisis.

Keywords: crisis, transport enterprise, economic losses, recommendations

Анализируется проявление кризиса в деятельности транспортных предприятий, приводится статистика перевозок водным транспортом, рассматриваются требования к разработке антикризисных мер и пути преодоления кризиса.

Отрасли хозяйствования связаны между собой, поэтому кризисные явления в деятельности одной отрасли приводят к масштабной цепной реакции. Опасность кризиса заключается в неопределенности последствий, обусловленных нестабильной экономической ситуацией в стране. Кризис охватил практически все отрасли, в том числе и транспорт, который является связующим звеном, обеспечивающим функционирование всех производств. Снижение активности деятельности предприятий непосредственно отразилось и на деятельности судоходных компаний: значительно сократился спрос на транспортные услуги.

В последние годы наметилась устойчивая тенденция к снижению перевозок водным транспортом, за исключением морских в каботажном плавании. Значительно сократились перевозки водным транспортом во внутреннем сообщении: в 2013 г. перевозки уменьшились, по сравнению с 2012 г., на 6,8%, а в 2014 г., по сравнению с предыдущим годом, на 14,9% (таблица 1). Менее значимое снижение перевозок внутренним водным транспортом в заграничном сообщении, указанное в таблице, связано с изменениями в статистическом учете: перевозки в судах класса «река-море» стали отражаться в показателях работы внутреннего водного транспорта.

Таблица – Индексы перевозок и грузооборота водного транспорта (по данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), раздел: Транспорт и связь)

Показатель, вид транспорта	Значение показателя за 2014 г.	Отношение 2014 г./2013 г., %	Отношение 2013 г./2012 г., %
Перевозки, млн. т			
Морской транспорт, в том числе:	15,3	91,2	91,2
– в каботажном плавании	9,3	110,0	101,4
– в заграничном плавании	6,0	72,1	82,7
Внутренний водный транспорт, в том числе:	118,9	88,2	96,0
– во внутреннем сообщении	88,0	85,1	93,2
– в заграничном сообщении	30,9	98,5	106,4
Грузооборот, млрд. т·км			
Морской транспорт	31,5	79,8	87,2
Внутренний водный транспорт	72,2	90,1	99,2

Опасность кризиса заключается также в дефиците денежных средств со всеми вытекающими последствиями: задержка расчетов с поставщиками и работниками, нарушение сроков платежей по налогам и сборам, банковским процентам, возврату кредитов. Предприятия вынуждены проводить консервацию основных средств, ликвидировать или реализовывать по низким ценам активы, сокращать клиентскую базу, отказываться от имеющихся обязательств перед партнерами и клиентами.

В период кризиса неизбежен рост транспортных тарифов, так как увеличиваются цены на топливо, смазочные материалы, запчасти, услуги по обслуживанию флота. Повышая тарифы, перевозчик должен помнить, что рост стоимости транспортных услуг ведет к сниже-

нию спроса на перевозки, поэтому решение об увеличении тарифов требует экономического обоснования их предельного уровня. Одним из важных условий выживания судоходных компаний является экономия ресурсов, потребляемых в процессе транспортировки продукции.

За последние годы существенно не изменились ни структура управления транспортными предприятиями, ни технологические процессы доставки груза, не произошло инновационных сдвигов в судостроении, применении ресурсосберегающих технологий, на предприятиях не используются научные методы обоснования транспортных тарифов, управления издержками. В результате судоходные компании испытывают жесткий прессинг кризиса.

Кризисная ситуация на водном транспорте характеризуется:

- уменьшением спроса на транспортные услуги;
- снижением доходов от основной и прочих видов деятельности;
- сокращением клиентской базы;
- ухудшением показателя использования флота;
- ростом издержек;
- дефицитом финансовых ресурсов и ухудшением финансового состояния;
- снижением инвестиционной и инновационной активности.

Кризис на водном транспорте проявляется также в продолжение процесса «старения» основных средств, нерациональной структуре флота (избыток одних типов судов и недостаток других), неудовлетворительном состоянии ремонтной базы, неэффективном функционировании производств, обслуживающих транспортный процесс.

Перечисленные факторы, в конечном итоге, ведут к потере ресурсов (материальных, финансовых, трудовых), снижению управляемости транспортным процессом, а возможно и к ликвидации отдельных транспортных предприятий.

Потери судоходных компаний в период экономического кризиса носят системный характер, становятся системными проблемами и являются результатом противоречий между кризисным воздействием на деятельность предприятия и стремлением компании сохранить свое положение на рынке транспортных услуг. Потерям присущи все признаки системности, в том числе: структурированность, взаимосвязанность и целенаправленность.

На рисунке представлена схема системных потерь транспортного предприятия в период кризиса, а под номерами 1-4 показано негативное обратное воздействие потерь на управляемость и эффективность перевозочной деятельности. Наличие обратных связей – это шанс повысить устойчивость и управляемость транспортного процесса, так как при отрицательной динамике потерь анализ обратных связей укажет направление первоочередных антикризисных мер.

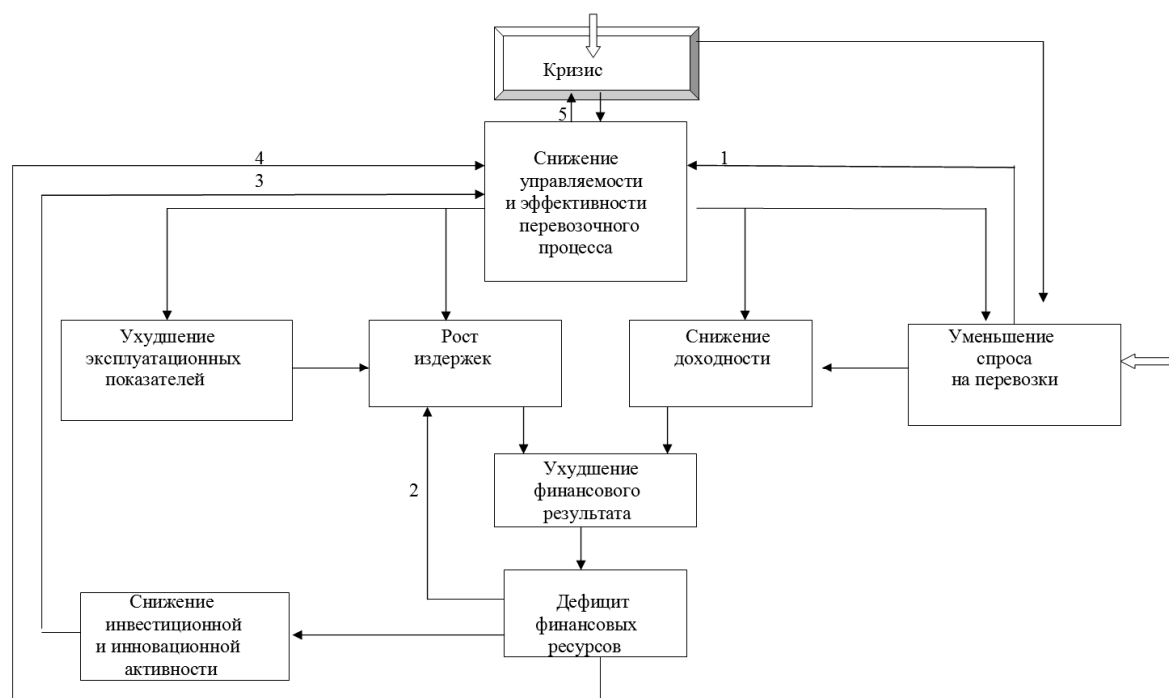


Рисунок – Схема системных потерь в период кризиса

Результат деятельности транспортного предприятия на современном этапе определяется двумя основными факторами:

– кризисом, который оказывает влияние на деятельность предприятия через рост цен на потребляемые ресурсы, ухудшение условий кредитования предприятия, ограниченность бюджетного финансирования путевых условий, снижение спроса на перевозки;

– подготовленностью и способностью менеджмента предприятия противодействовать кризису, находить пути решения возникших проблем.

Переломный момент в кризисной ситуации наступит, когда ослабнет влияние негативных обратных связей (снижение спроса на перевозки, уменьшение инвестиционной и инновационной активности, дефицит финансовых ресурсов). Если транспортное предприятие сможет разработать и реализовать эффективную антикризисную программу, то активизируется связь 5 – воздействие на кризис.

Содержание программы выхода из кризиса зависит от множества факторов и, в первую очередь, от масштабности кризиса и состоятельности транспортного предприятия (уровня конкурентоспособности, финансовой устойчивости), а также от экономического положения потребителей транспортных услуг. В зависимости от перечисленных факторов антикризисная программа может предполагать затяжной выход из кризиса – равномерное плавное улучшение показателей, либо в течение определенного периода предприятие накапливает экономический потенциал и далее ускоренными темпами преодолевает влияние кризиса. Возможен и третий вариант, при котором предприятия сразу предпринимает усиленные меры по противодействию кризису. Для реализации последнего варианта необходимо наличие резерва финансовых ресурсов и эффективный менеджмент.

При разработке антикризисных мер, необходимо учитывать, что для системных потерь характерна неопределенность способов их преодоления. Как правило, существует множество вариантов снижения потерь, однако, в связи с неопределенностью и неполнотой информации о кризисе (масштаб, продолжительность, централизованное антикризисное воздействие и пр.), не может быть полной уверенности в очевидности и достаточности этих способов. Уровень открытой информации не превышает 15%, поэтому для разработки антикризисных мер необходимы дополнительные исследования.

Даже при достаточно полной степени информативности рекомендуется рассматривать несколько направлений антикризисных мер и ранжировать их по предпочтительности результата. При этом, учитывая динамичность кризиса и потерь, нельзя рассчитывать на однозначность исхода. Процесс обоснования антикризисных мер требует рассмотрения различных вариантов возможных последствий, в том числе и упущенную выгоду.

Экономически необоснованная антикризисная программа может стать источником дополнительных рисков, так как реализация программы связана с ресурсными вложениями, и важно выбрать наиболее эффективные направления расходования средств. Кроме того, антикризисные меры предполагают возникновение внешнего и внутреннего противодействия, а при решении любой проблемы, как правило, удовлетворяются интересы только одной стороны. Непримируемость интересов различных сторон может привести к негативным не только экономическим, но и социальным последствиям. В современных условиях в период кризиса целесообразно при принятии решений отдавать предпочтение компромиссному принципу, а не принципу экстремальности. В конечном итоге компромисс между потребностями, возможностями и интересами всех участников транспортного процесса приведет к оптимальному пути выхода из кризиса.

В условиях кризиса возрастает значимость предвидения и экономического обоснования основных направлений развития водного транспорта. С одной стороны, водный транспорт – самостоятельная транспортная подотрасль, имеет свои специфические особенности, призван решать определенные задачи, с другой стороны – это звено транспортной системы, и по своим организационным, техническим, экономическим и другим параметрам должен соответствовать другим видам транспорта с целью совместного обеспечения эффективного функционирования экономики страны в целом.

Таким образом, направление развития водного транспорта, как и всей транспортной системы, должно быть ориентировано на достижение стратегической цели экономического развития, что возможно только при создании конкурентоспособных транспортных предприятий.

Рекомендации по преодолению кризиса:

– Повышение качества транспортных услуг. В период кризиса усиливается конкурентная

борьба между грузоперевозчиками за грузоотправителей и грузовладельцев. Естественно, выиграет тот перевозчик, который предоставит более качественные услуги, и будет активно и профессионально привлекать клиентов: гарантированный срок доставки груза; предоставление дополнительных услуг клиентам (страхование, посреднические услуги, брокерские и консалтинговые услуги); использование новейших информационных каналов и технологий для рекламы, контактов с партнерами и клиентами, контроля выполнения перевозок и условий договоров; использование труда квалифицированных работников; обеспечение сохранности груза.

– Оптимизация тарифов. Завышение тарифов приведет к снижению спроса на перевозки, а установление необоснованно низких тарифов негативно скажется на финансовом состоянии транспортного предприятия: использование современных теорий и методов обоснования предельных тарифов; установление нижней допустимой границы тарифов; изучение цен конкурентов и платежеспособности клиентов; использование гибких цен, учитывающих характеристики заявленного груза (количество груза, габаритный размер, партионность, класс опасности, особенности погрузки, размещения на судне и выгрузки, пакета сопроводительных документов); применение системы скидок для грузовладельцев с хорошей клиентской историей (надежных, платежеспособных, ответственных).

– Экономия ресурсов. В первую очередь следует рассмотреть статьи затрат, имеющие значимый удельный вес в структуре расходов: заработная плата, горюче-смазочные материалы (ГСМ), амортизация; аттестация рабочих мест с целью обоснованного сокращения кадров. Особое внимание рекомендуется обратить на отделы логистики, так как современные информационные технологии позволяют оптимизировать штаты соответствующих служб; снижение затрат на ГСМ (экономия, контроль расходования топлива и смазки, оптимизация работы силовых установок, экономическое обоснование объемов закупки топлива, изучение рынка поставщиков, их надежности, ценовой политики; обоснование рациональной потребности в основных средствах; сокращение прочих прямых и косвенных расходов.

– Совершенствование управления предприятием и организации перевозок: разработка оптимальных маршрутных схем (при сборных партиях груза, на пассажирских перевозках); обратная загрузка судов (привлечение индивидуальных предпринимателей, малый бизнес); прямые партнерские и клиентские связи, сокращение посреднических услуг, привлечение новых клиентов; заключение долгосрочных контрактов с надежными партнерами и клиентами (снижение влияния инфляционных процессов); повышение частных и интегральных показателей использования флота (рациональное размещение груза, снижение непроизводительных простоев, увеличение эксплуатационной загрузки и др.); по возможности, вложение средства в новую технику, в новые формы организации труда, обслуживания, управления, модернизацию транспортной инфраструктуры и т.п.

Не исключена ситуация резкого снижения перевозок, в этом случае необходимы меры по сохранению предприятия. Актуальными становятся: сдача в аренду флота, складов, офисов, организация ремонта технических средств, консервация судов.

В настоящее время на водном транспорте имеется множество проблем технического, экономического, организационного, экологического характера, которые затрудняют выход судоходных компаний из кризисного состояния. Однако перевозки морским и внутренним водным транспортом остаются востребованными, особенно в районах Сибири и Дальнего Востока, и повышение их эффективности напрямую связано с реализацией инновационных технологических, технических, организационных и управленческих идей

Преодоление кризиса и возрождение отечественной экономики невозможно без активного участия перевозчиков и программы поддержки транспортной отрасли, в том числе водного транспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кризис, транспортное предприятие, экономические потери, рекомендации
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Путилова Наталья Николаевна, канд. экон. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕНИЯ НАСЫПНОГО МАССИВА

Институт горного дела СО РАН
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»

А.Л. Ланис, Г.Н. Хан

THE NUMERICAL SIMULATION OF STRESS OF FILL UP SOIL

Institute of mining
Siberian state transport university
A.L. Lanis, G.N. Khan

The article deals with questions concerning the comparison of calculations in fill dirt under stress. According to the discrete element method (DEM) a computer program PM2D was developed to solve problems for calculating of stress-strain condition (SSC) of fill up soil. The test calculations to determine the validity of the PM2D operating algorithm were carried out.

Keywords: numerical simulation, discrete element method (DEM), stress-strain state of bulk arrays

В рамках метода дискретных элементов (МДЭ) разработана компьютерная программа PM2D для решения задач по оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) насыпных массивов. С целью проверки правильности работы алгоритмов, заложенных в PM2D, проведены тестовые расчеты и их сравнение с экспериментальными данными.

На основе метода дискретных элементов [1] и математической модели дискретной среды [2] разработана компьютерная программа PM2D для решения задач механики горных пород, грунтов и сыпучих сред. С ее помощью численно смоделировано нагружение штампом насыпного массива в окрестности ее откоса. С целью проверки адекватности работы программы проведено сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными. Последние были получены в ИГД СО РАН на лабораторной установке со стендом, позволяющей визуализировать не только картину деформирования насыпного массива при нагружении, но и его внутренние структурные изменения путем просвечивания стенда источником света.

В расчетах насыпной массив высотой h формировали из элементов в форме цилиндров единичной высоты, которые контактировали между собой вдоль образующих. Радиусы r элементов выбирались из диапазона $0,3 \leq r \leq 0,4$ мм с равномерным распределением. Их параметры ρ , θ , E , C – плотность, угол контактного трения между дискретными элементами, модуль упругости и сцепление принимались равными 2700 кг/м^3 ; 20° ; 10^4 МПа , 100 Па соответственно. Такой модельный материал ограничивался неподвижными вертикальной Γ_1 и горизонтальной Γ_2 плоскостями (рисунок 1; Γ_2 – основание массива). Угол φ

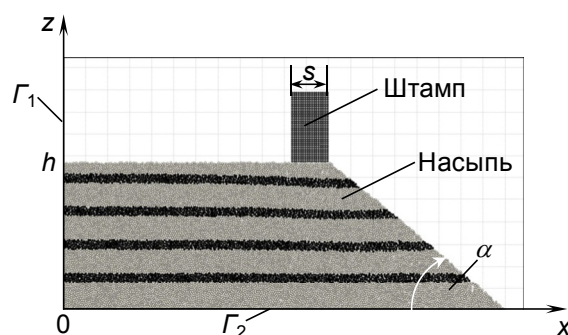


Рисунок 1 – Схема нагружения насыпного массива

трения между элементами и вертикальной плоскостью принимался равным 17° , между элементами и основанием массива – 17° или 34° . Прямоугольный штамп моделировался кластером из регулярно расположенных цилиндров единичной высоты с одинаковым радиусом $0,3$ мм, между которыми $C = 20 \text{ МПа}$. В расчетах, как и в экспериментах, использовались штампы шириной $s = 17,5$ и 35 мм.

На рисунке 2 приведено сравнение компьютерного моделирования процесса внедрения штампа в насыпной массив с экспериментами при $\varphi = 34^\circ$. В первом случае, ширина s штампа равнялась $17,5$ мм (рисунок 2а и 2б), во втором – 35 мм (рисунок 2в и 2г). Из рисунков видно, что расчетные деформационные картины на каждой из показанных стадий достаточно близки соответствующим экспериментальным. Это можно проследить по темным, в начальный момент времени горизонтальным, прослойкам, деформирующимся в процессе внедрения штампа в массив. При численном моделировании, также как и в опытах, в процессе нагружения насыпи, в первом случае, реализовался поворот штампа по направлению от откоса, во втором – в обратном направлении. Углы поворота штампов на всех показанных

стадиях деформирования насыпного массива в экспериментах и в расчетах примерно равны. Это говорит о том, что между экспериментами и расчетами существует не только качественное, но и количественное совпадение результатов.

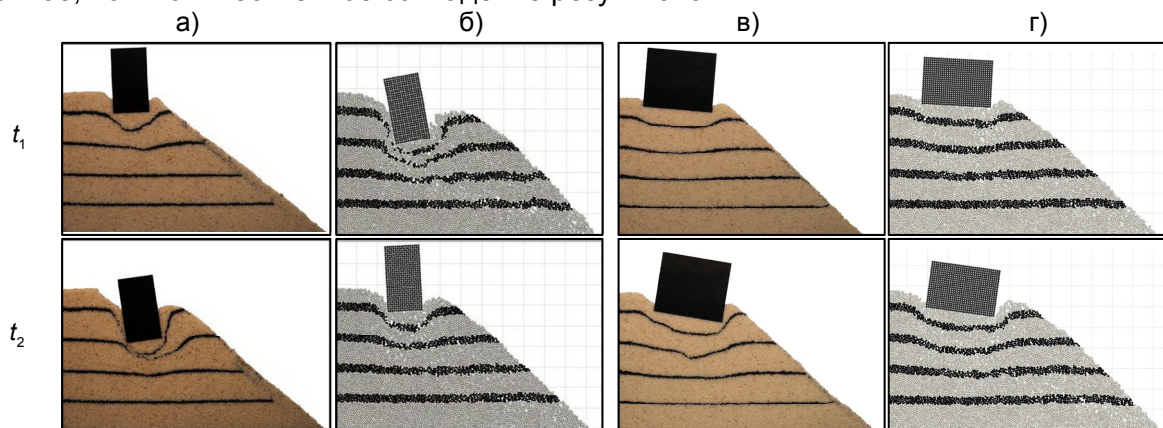


Рисунок 2 – Экспериментальные (а), (в) и расчетные (б), (г) стадии t_1-t_2 деформирования насыпного массива под действием штампа при $s = 17,5$ мм (а), (б) и $s = 35$ мм (в), (г) при $\varphi = 34^\circ$

Таким образом, лабораторные опыты выявляют, а расчеты подтверждают существование нового эффекта, в соответствии с которым имеется некоторое критическое значение $\delta = s/h$, при превышении которого в ходе внедрения штампа в массив происходит изменение направления его поворота на противоположное.

Для выяснения влияния на деформированное состояние (ДС) нагружаемой штампом насыпи величины угла φ контактного трения между элементами массива и основанием были проведены расчеты при $\varphi = 17^\circ$ и 34° . На рисунке 3 приведены последовательные стадии внедрения штампа с $s = 17,5$ мм в насыпной массив при $\varphi = 17^\circ$ и 34° . Данные деформационные картины не позволяют вполне определенно сказать о какой-либо разнице в развитии процесса разрушения насыпного массива при росте φ от 17° до 34° . Визуально наблюдаемым отличием является только меньший угол α откоса на стадии t_3 при $\varphi = 17^\circ$ по сравнению с $\varphi = 34^\circ$.

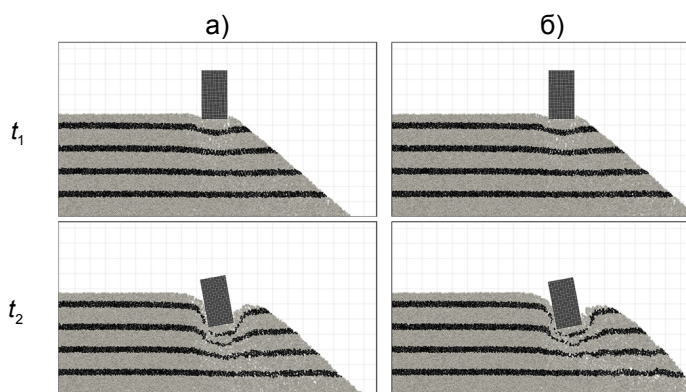


Рисунок 3 – Расчетные стадии t_1-t_2 деформирования насыпного массива, нагружаемого штампом с $s = 17,5$ мм при $\varphi = 17^\circ$ (а) и $\varphi = 34^\circ$ (б)

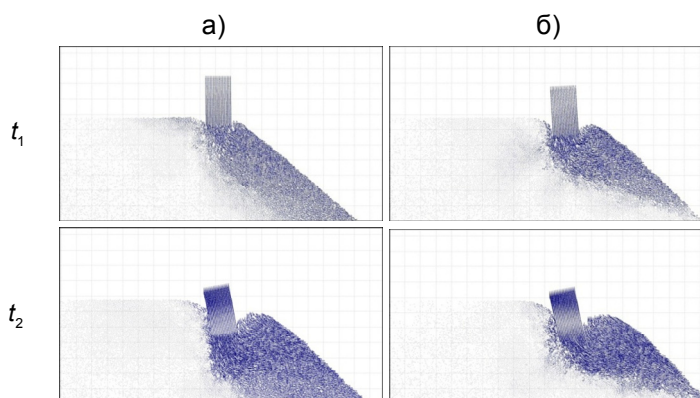


Рисунок 4 – Расчетные поля скоростей на стадиях t_1-t_2 в насыпном массиве, нагружаемом штампом с $s = 17,5$ мм при $\varphi = 17^\circ$ (а) и $\varphi = 34^\circ$ (б)

В отличие от картин деформирования, поля скоростей указывают на существенные различия в перемещениях частиц насыпи (рисунок 4). При $\varphi = 17^\circ$, в массиве выделяется блок (окрашен в темный тон), вмещающий частицы, интенсивно движущиеся начиная от основания штампа и вплоть до основания массива почти параллельно откосу (рисунок 4а). Ширина такого блока в процессе внедрения штампа в насыпной массив увеличивается. При $\varphi = 34^\circ$ нижняя граница потерявшего устойчивость блока проходит выше основания массива (рисунок 4б).

Таким образом, расчеты показали, что при $\varphi \leq \varphi^*$ реализуется первый вариант выделе-

ния блока в насыпном массиве при его нагружении штампом (рисунок 4а), при $\varphi > \varphi^*$ – второй (рисунок 4б), где φ^* – некоторая критическая величина угла φ , лежащая в диапазоне от 17° до 34° .

Для проверки адекватности численных результатов, приведенных на рисунок 4, на описанной выше лабораторной установке при включенном источнике света проведены лабораторные опыты по нагружению насыпного массива штампом с $s = 35$ мм при $\varphi = 17^\circ$ и 34° . На рисунке 5а и 5б показаны картины структурного изменения в лабораторном массиве соответственно при $\varphi = 17^\circ$ и 34° на одной из стадий деформирования насыпи. В первом случае от угла штампа, наиболее удаленного от бровки насыпи, практически параллельно откосу нарезается полоса скольжения, выходящая на основание. Во втором случае полоса скольжения нарезается от того же угла штампа, но, начинаясь также параллельно откосу, она меняет направление и выходит на него. Картины ДС насыпи, полученные численным моделированием (рисунок 5в и 5г) аналогичны полученным экспериментально (рисунок 5а и 5б). Таким образом, эксперименты подтвердили расчеты, показавшие влияние угла φ на характер выделения блока в насыпном массиве, нагружаемом штампом. И физический, и численный эксперименты демонстрируют однозначное влияние на форму и размер блоков, выделяющихся из насыпи в процессе внедрения в нее штампа, угла контактного трения φ между массивом и основанием.

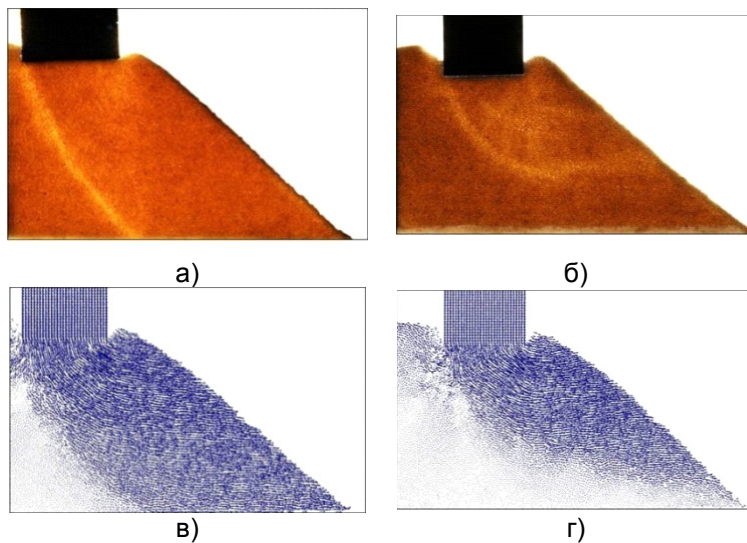


Рисунок 5 – Сравнение экспериментальных (а), (б) и расчетных (в), (г) областей деформирования при $s = 35$ мм: $\varphi = 17^\circ$ (а), (в); $\varphi = 34^\circ$ (б), (г)

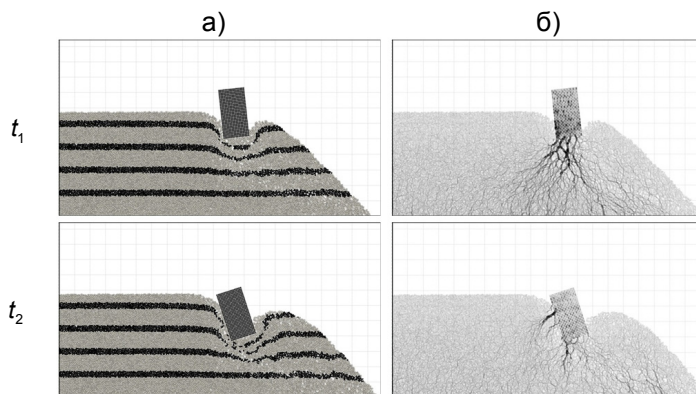


Рисунок 6 – Расчетные стадии $t_1 - t_2$ деформирования насыпного массива, нагружаемого штампом с $s = 17,5$ мм при $\varphi = 34^\circ$ (а) и соответствующие им поля контактных сил (б)

Программа PM2D позволяет, помимо картин деформирования и поля скоростей, рассчитывать поля напряжений или контактных сил между дискретными элементами. На рис 6 показаны расчетные стадии ДС массива (рисунок 6а) и соответствующие им поля контактных сил (рисунок 6б). На рисунке 6б более темным и толстым отрезкам соответствуют большие величины контактных сил. На рисунке 6б видно, что в момент t_1 внедрения штампа в насыпь концентрация силовых линий (концентрация напряжений) в ней в основном распределена в окрестности под штампом. На последней из приведенных стадий нагружения напряжения концентрируются не только у того же угла штампа, что и на предыдущей стадии, но и у левой боковой стороны штампа, контактирующей с массивом в верхней своей части (рисунок 6б; стадия t_2).

Таким образом, сравнение расчетов с экспериментами показывает, что алгоритмы, заложенные в компьютерную программу PM2D, позволяют для процессов, протекающих в грунтовых и сыпучих средах при нагружении, получать адекватные качественные и количественные оценки. Проведенные исследования позволяют заключить, что при наличии надежных исходных данных о материалах, используемых при создании, например, железно-

дорожного полотна, компьютерная программа PM2D даст возможность с достаточной для практики точностью оценивать напряженно-деформированное состояние (НДС) насыпного массива на любой из стадий его формирования. Программа также позволяет отслеживать изменения НДС массива в ходе его эксплуатации при его нагружении машинами, поездами и другой техникой или зданиями и строениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Cundal, P.A. A discrete numerical model for granular assemblies / P.A. Cundall, O.D.L. Strack // Geotechnique. -1979. -Vol. 29. -P. 47-65
2 Ланис, А.Л. Модификация модели геосреды для решения задач механики грунтов методом дискретных элементов / А.Л. Ланис, Г.Н. Хан // Вестн. ТГАСУ. -2013. -№ 1. -С. 273-281.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: численное моделирование, метод дискретных элементов, напряженно-деформированное состояние насыпных массивов
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ланис Алексей Леонидович, канд. техн. наук, начальник управления ФГБОУ ВПО «СГУПС» Хан Гил Нам, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник ИГД СО РАН
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС» 630091, г.Новосибирск, Красный проспект, 54, ИГД СО РАН

ЕВРОПЕЙСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕНОСТЕКЛА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНАЛОГИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Институт криосферы Земли СО РАН

Е.А. Коротков, А.О. Константинов, П.В. Смирнов, К.С. Иванов

EUROPEAN EXPERIENCE OF APPLICATION OF FOAMED GLASS IN ROAD CONSTRUCTION. PROSPECTS FOR APPLYING EQUIVALENT MATERIALS IN RUSSIAN FEDERATION
Institute of the earth cryosphere
E.A. Korotkov, A.O. Konstantinov, P.V. Smirnov, K.S. Ivanov

The article examines the European of application of foamed glass gravel in road construction and the factors limiting the use of this material in Russian Federation. Granular insulation materials produced from opal raw materials are proposed to be used as an alternative to foamed glass gravel.

Keywords: foamed glass, granular insulation material DiatomIK, road construction

Рассматривается европейский опыт применения гранулированного пеностекла в дорожном строительстве и факторы, лимитирующие применение данного материала в Российской Федерации. В качестве альтернативы гранулированному пеностеклу предлагается использовать гранулированные теплоизоляционные материалы, получаемые из опалового сырья.

Разработка и внедрение новых материалов, которые позволили бы повысить прочность, надежность и долговечность автомобильных дорог, является одним из необходимых условий модернизации транспортной инфраструктуры Западной Сибири.

Значительная часть территории региона находится в условиях со сложными климатическими и инженерно-геологическими условиями: широкое распространение слабых грунтов, многолетнемерзлых пород. Низкая плотность населения, дефицит качественных строительных материалов также являются факторами, ограничивающими развитие сети автомобильных дорог Западной Сибири. Соответственно, строительные материалы, внедрение которых позволило бы качественно улучшить состояние автодорожной инфраструктуры региона, должны обладать следующим набором свойств: высокими теплоизоляционными характеристиками, долговечностью, высокой прочностью, устойчивостью к агрессивным средам и экстремальным природным условиям. Практическое применение подобных материалов должно быть экономически целесообразно. Например, теплоизоляционные пенополистирольные плиты, широко используемые при строительстве автомобильных дорог на севере Западной Сибири, являются привозным материалом, что существенно снижает экономический эффект от их использования.

Широкое применение гранулированного пеностекла или аналогичных материалов, в качестве альтернативы плитам из экструзионного пенополистирола, позволило бы существенно сократить затраты на строительство и эксплуатацию объектов транспортной инфраструктуры в сложных природных условиях ряда регионов Западной Сибири.

Зарубежный опыт использования гранулированного пеностекла в дорожном строительстве. В ряде стран северной Европы гранулированное пеностекло (пеностекляный

щебень) уже более 20-ти лет активно применяется в транспортном строительстве [1].

Пионером в области внедрения гранулированного пеностекла в дорожное строительство является Швейцария, где в условиях сложного горного рельефа и климата отдельные попытки использовать данный материал для устройства морозозащитных слоев под дорожной одеждой предпринимались еще в 1960-70 гг. [2].

Наибольшего успеха в применении гранулированного пеностекла в дорожном строительстве добились скандинавские страны: Швеция, Финляндия и, в первую очередь, Норвегия [3, 4].

Начиная с 1999 г. пеностекло применялось при строительстве и реконструкции более чем 25 дорожных объектов Норвегии, включая Транснорвежскую магистраль Е6 (главная дорога страны), крупных участков национальных автодорог №120 и №17.

При активном содействии Норвежского управления дорогами общего пользования (Norwegian Public Road Administration) и крупнейшего производителя пеностекла страны, компании Nasopor (рисунок 1), были запущены программы мониторинга, целью которых являлось исследование эксплуатационных характеристик дорожных конструкций с применением гранулированного пеностекла.



Рисунок 1 – Гранулированное пеностекло марки Nasopor Light [5]

Многочисленные полевые и лабораторные испытания позволили норвежским специалистам сделать вывод о высокой эффективности гранулированного пеностекла в дорожном строительстве [6].

Сочетание высоких теплоизоляционных характеристик, низкого водопоглощения, прочности и небольшой насыпной плотности делают гранулированное пеностекло незаменимым материалом при строительстве на слабых, посадочных грунтах и в области распространения многолетнемерзлых пород.

Положительные результаты полевых и лабораторных испытаний материала позволили получить сертификат ETA (European Technical Approval) на материал марки Nasopor.

Экономическая целесообразность применения гранулированного пеностекла обусловлена тем, что устройство слоя материала под дорожной одеждой или в основании земляного полотна полностью автоматизировано (рисунок 2).



Рисунок 2 – Автоматизированная укладка слоя гранулированного пеностекла в обойму из геотекстиля [5]

Сырьем для производства гранулированного пеностекла служат отходы стекольного производства. Поэтому, интенсивное применение гранулированного пеностекла в дорожном строительстве ряда европейских стран обусловлено, прежде всего, общеевропейской политикой в сфере

охраны окружающей среды и переработки отходов.

Гранулированный теплоизоляционный материал ДиатомИК. Гранулированное пеностекло могло бы найти широкое применение в дорожном строительстве Российской Федерации. Основным фактором, лимитирующим возможность активного использования данного материала при строительстве автомобильных дорог и других объектов транспортной инфраструктуры, является дефицит сырья – промышленных и бытовых отходов стекла.

На сегодняшний день российская практика обращения с отходами не позволяет организовать крупномасштабные производства новых материалов на основе переработки вторсырья. Отсутствуют отлаженные механизмы сбора, транспортировки и переработки отходов [7]. Реальные возможности для промышленного производства пеностекла существуют исключительно в высоко урбанизированных регионах с крупными агломерациями: Москва и Московская область, Санкт-Петербург.

На наш взгляд, использование ячеистых пеносиликатных материалов, полученных путем термической обработки опалового сырья могло бы стать альтернативой пеностеклу и позволило бы обеспечить строительную отрасль регионов Уральского Федерального Округа и Западной Сибири высококачественными строительными материалами многоцелевого назначения.

Гранулированный теплоизоляционный материал (ГТМ) ДиатомИК (рисунок 3), оригинальная разработка специалистов Института криосферы Земли СО РАН, является потенциальной альтернативой классическому пеностеклу и пенополистирольным плитам в качестве теплоизоляционного материала для транспортного строительства.

Технология производства ГТМ ДиатомИК включает специальную подготовку опалового (диатомитового) сырья, смешивание с добавками, грануляцию и обжиг во вращающейся печи при температуре 800 °С [8].

Полученный таким образом материал на изломе напоминает застывшую стеклянную пену (рисунок 4).



Рисунок 3 – Гранулированный теплоизоляционный материал ДиатомИК



Рисунок 4 – Гранулы теплоизоляционного материала ДиатомИК на изломе

Одним из важных аспектов этой программы является рациональное использование пеностекла.

Каждая отдельная пора является закрытой и паронепроницаемой, что обуславливает высокие эксплуатационные характеристики ГТМ ДиатомИК: прочность, долговечность, морозостойкость.

Выводы. Гранулированное пеностекло является перспективным теплоизоляционным материалом для транспортного строительства. Широкое использование данного материала ограничено несовершенством отечественной системы сбора и переработки отходов.

ГТМ ДиатомИК, получаемый из опалового сырья, является альтернативой материалам на основе пеностекла. Активное применение данного материала в дорожном строительстве может положительно сказаться на качестве и долговечности автомобильных дорог регионов Западной Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 SGI. Manual for Foam Glass in soil and road construction / The Swedish Geotechn. Inst. (SGI). -2008. -44 p.
- 2 Meyer, M. Einsatzmöglichkeiten von recyceltem Altglasim Verkehrswegebau / M. Meyer, A. Emersleben // Recycling und Rohstoffe. -2010. -Bd 3. -S. 441-451.
- 3 Emersleben, A. Paved with Glas. Civil Engineering, ASCE, June 2012.
- 4 Finnish Transport Agency 2011a*. Bulk lightening plans. Guidelines for road foundation construction / A. Emersleben, N. Meyer. -2012. -S. 48.
- 5 Frydenlund, T. E. Use of waste materials for lightweight fills / T. E. Frydenlund, R. Aabøe // International Workshop on Lightweight Geomaterials. -Tokyo, 2002.
- 6 Hasoporskumglass : text in norw. lang. / Bakløkk [et. al.] // SINTEF report. -2001. -S. TF22-F01322.
- 7 Мелконян, Р. Г. Экологические и экономические проблемы использования стеклобоя в производстве стекла: учеб. пособие / Р. Г. Мелконян, с. Г. Власова. -Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. -100 с.
- 8 Иванов, К. С. Диатомиты в технологии гранулированного пеностекла / К. с. Иванов, с. с. Радаев, О. И. Селезнева // Стекло и керамика. -2014. -№ 5. -С. 15-19.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пеностекло, гранулированный теплоизоляционный материал ДиатомИК, дорожное строительство

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Коротков Евгений Анатольевич, научный сотрудник ФГБУН ИКЗ СО РАН
Константинов Александр Олегович, младший научный сотрудник ФГБУН ИКЗ СО РАН
Смирнов Павел Витальевич, научный сотрудник ФГБУН ИКЗ СО РАН
Иванов Константин Сергеевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУН ИКЗ СО РАН

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 625000, г.Тюмень, ул. Малыгина, 86, ФГБУН ИКЗ СО РАН

ХАРАКТЕРНЫЕ ТОЧКИ БОЛЬШОГО КРУГА ДВУХ ЗВЁЗД ОТНОСИТЕЛЬНО ИХ РАЗНОСТЕЙ ВЫСОТЫ И АЗИМУТА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.И. Сичкарев

DISTINCTIVE POINTS OF BIG CIRCLE OF TWO STARS RELATIVELY THEIR DIFFERENCE OF ALTITUDE AND AZIMUTH

Siberian state university of water transport

V.I. Sichkarev

Device coordinates of distinctive points where difference of altitude equals zero or difference of azimuth equals zero accordingly observer's latitude.

Keywords: big circle of two stars, observer's latitude, difference of altitude, difference of azimuth, distinctive points

Рассматривается большой круг, соединяющий две звезды, и небесная параллель зенита наблюдателя. Получены координаты характерных точек, в которых светила окажутся на одной высоте (разность высот равна нулю) или с одним азимутом (разность азимутов равна нулю). Результаты численного расчёта подтверждены моделированием на звёздном глобусе.

Появление нового, достаточно простого и полностью автономного технического средства в виде секстана с поворотным большим зеркалом [1], предназначенного кроме традиционного измерения высот светил, также и для измерения разностей высот и разностей азимутов двух светил, приводят к необходимости более досконального исследования этих астронавигационных параметров в дополнение к ранее выполненным М.И. Гаврюком, [2], и его предшественниками.

Рассмотрим два светила А и В, положение на небесной сфере которых задано склонениями δ_A и δ_B , и звёздными дополнениями τ_A, τ_B (рисунок 1).

Примем за начальное светило с наименьшим склонением и соединим светило В с А дугой большого круга (ДБК) $ВАС'С$, в результате чего меридианами светил РА и РВ и ДБК ВА образуется сферический треугольник PAB. Его сторонами являются полярные расстояния светил $(90^\circ - \delta_A)$, $(90^\circ - \delta_B)$ и расстояние между светилами

$$S = BA.$$

Сферический угол P этого треугольника есть разность звёздных дополнений $\Delta\tau = \tau_B - \tau_A$, а сферический угол B – азимут ДБК из точки В в точку А.

Сферическое расстояние ВА можно определить по формуле косинуса стороны

$$\cos S = \cos(90^\circ - \delta_A) \cos(90^\circ - \delta_B) + \sin(90^\circ - \delta_A) \sin(90^\circ - \delta_B) \cos \Delta\tau,$$

откуда
$$\cos S = \sin \delta_A \sin \delta_B + \cos \delta_A \cos \delta_B \cos \Delta\tau. \quad (1)$$

Сферический угол B можно определить по формуле котангенсов, исчисляя четыре рядом лежащих элемента как $\angle B, (90^\circ - \delta_B), \Delta\tau, (90^\circ - \delta_A)$

$$\text{ctg} B \sin \Delta\tau = \text{ctg}(90^\circ - \delta_A) \sin(90^\circ - \delta_B) - \cos(90^\circ - \delta_B) \cos \Delta\tau,$$

откуда
$$\text{ctg} B = \frac{\text{tg} \delta_A \cos \delta_B - \sin \delta_B \cos \Delta\tau}{\sin \Delta\tau}. \quad (2)$$

Сферический угол B можно рассматривать как параметр ДБК ВА, а формулу (2) – как уравнение ДБК, если положить в ней известным параметр B, а координаты точки А принять за координаты произвольной точки X

$$\delta_A = \delta_x; \Delta\tau_x = \tau_B - \tau_A = \tau_B - \tau_x. \quad (3)$$

Тогда уравнение ДБК, исходящей из точки $B(\delta_B, \tau_B)$ в заданном направлении В

$$\text{ctg} B = \frac{\text{tg} \delta_x \cos \delta_B - \sin \delta_B \cos \Delta\tau_x}{\sin \Delta\tau_x}. \quad (4)$$

Введём в рассмотрение положение наблюдателя с произвольным меридианом $P_N Z P_S$ (рисунок 1) и произвольным положением точки зенита Z по широте ϕ_z . Вследствие обращённого суточного вращения небесная сфера совершит относительно меридиана наблюдателя полный оборот за одни сутки. Геометрически это означает, что точка зенита Z опишет на небесной сфере малый круг $ZZ'Z''$ по небесной параллели со склонением $\delta_z = \phi_z$.

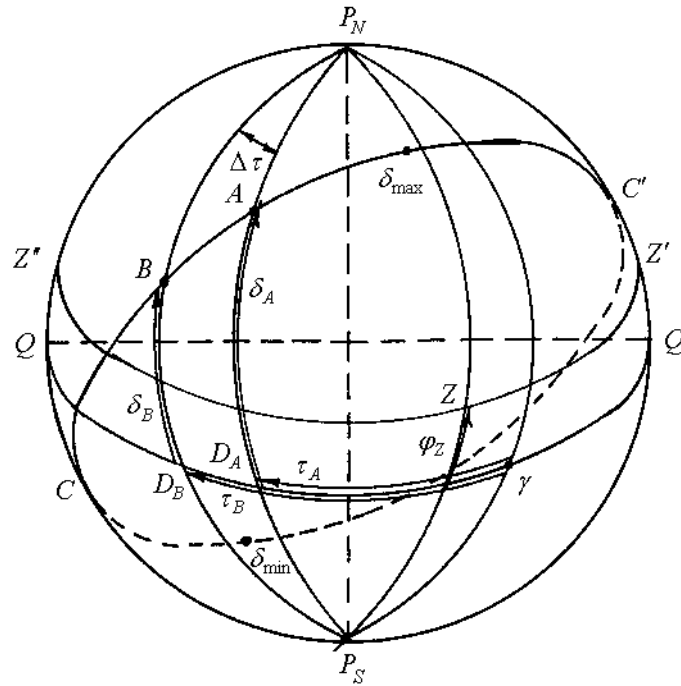


Рисунок 1 – Расположение на небесной сфере светил A и B и произвольного меридиана наблюдателя Z

В некоторых случаях небесная параллель зенита может пересекать ДБК ВА, и в точках пересечения ДБК ВА окажется одновременно и вертикалом светил В и А, то есть оба светила окажутся на одном вертикале. В этом случае разность высот светил окажется максимальной и равной расстоянию ВА

$$\Delta h = S, \quad (5)$$

а разность азимутов

$$\Delta A = 0.$$

Этот случай возможен, если

$$\delta_{x\min} \leq \varphi_Z \leq \delta_{x\max}, \quad (6)$$

где $\delta_{x\min}, \delta_{x\max}$ – точки максимума и минимума ДБК ВА по склонению.

Для определения экстремумов ДБК воспользуемся её уравнением (4) и введём обозначения

$$a = \cos \delta_B; b = \sin \delta_B; c = \text{ctg} B, \quad (7)$$

а также обозначим

$$\Delta \tau = x; \delta_x = y. \quad (8)$$

Тогда уравнение (4) можно представить в виде

$$a \text{tg} y - b \cos x - c \sin x = 0. \quad (9)$$

Необходимым условием экстремума гладкой функции является равенство нулю её производной $y' = 0$.

Производная неявной функции (9)

$$y' = \frac{F'_x}{F'_y} = \frac{(b \sin x - c \cos x) \cos^2 y}{a}. \quad (10)$$

Приравнявая (10) к нулю, найдём при $a \neq 0, \delta_x \neq 90^\circ$

$$b \sin x - c \cos x = 0,$$

откуда

$$\text{tg} x = \frac{c}{b} \text{ или } \text{tg} \Delta \tau_{\max/\min} = \frac{\text{ctg} B}{\sin \delta_B}. \quad (11)$$

Значение экстремумов склонения $\delta_{\max/\min}$ определяется из (4)

$$\text{tg} \delta_{\max/\min} = \frac{\text{ctg} B \sin \Delta \tau_{\max/\min} + \cos \Delta \tau_{\max/\min} \sin \delta_B}{\cos \delta_B}. \quad (12)$$

Пример. Для примера рассмотрим две звезды – α и η Большой Медведицы на $T_{\text{эп}} = 15.00$ 15 декабря 2014 года.

Светило А: α Большой Медведицы $\delta_A^* = 61^\circ 39', 52N$; $\tau_A^* = 193^\circ 50', 43$;

Светило В: η Большой Медведицы $\delta_B^* = 49^\circ 14', 04N$; $\tau_B^* = 152^\circ 58', 44$.

Гринвичский часовой угол точки Овна $t_{ep}^\gamma = 309^\circ 11', 42W$.

Сферическое расстояние S между светилами по (1), принимая

$$\Delta\tau = \tau_A - \tau_B = 40^\circ 52', 0 ; S = 25^\circ, 70792 = 25^\circ 42', 48 .$$

Вычислим азимут ДБК ВА в точке В по (2)

$$\text{ctg} B = -0,97486 ; B = -45^\circ, 72934 = -45^\circ 43', 45 = 314^\circ 16', 55 .$$

Вычислим координаты ДБК по (7, 9) преобразуя расчётное выражение к виду

$$\text{tg} \delta_x = \frac{\text{ctg} B \sin \Delta\tau_x + \cos \Delta\tau_x \sin \delta_B}{\cos \delta_B} = \frac{\text{ctg} B}{\cos \delta_B} \sin \Delta\tau_x + \text{tg} \delta_B \cos \Delta\tau_x , \quad (13)$$

и задаваясь различными значениями $\Delta\tau_x = \tau_B - \tau_x$ (таблица 1).

Таблица 1 – Координаты точек большого круга ВА на небесной сфере

$\Delta\tau_x$	0°	10	20	30	40	50
δ_x	49°,23	41,44	30,08	14,47	-4,07	-21,71
$\Delta\tau_x$	60	70	80°	90	100	110
δ_x	-35,49	-45,18	-51°,76	-56,18	-59,11	-60,94
$\Delta\tau_x$	120	130	140	150°	160	170
δ_x	-61,90	-62,11	-61,58	-60°,27	-58,00	-54,49
$\Delta\tau_x$	180	190	200	210	220°	230°
δ_x	-49,23	-41,44	-30,08	-14,47	4°,07	21,71
$\Delta\tau_x$	240	250	260	270	280	290
δ_x	35,49	45,18	51,76	56,18	59,11	60,94
$\Delta\tau_x$	300°	310	320	330	340	350
δ_x	61°,90	62,11	61,58	60,27	58,00	54,49

По координатам таблица 1 построен большой круг ВА на рисунке 2 в проекции небесной сферы на плоскость небесного экватора. Отмечены меридианы Гринвича, точки Овна, светила А и В.

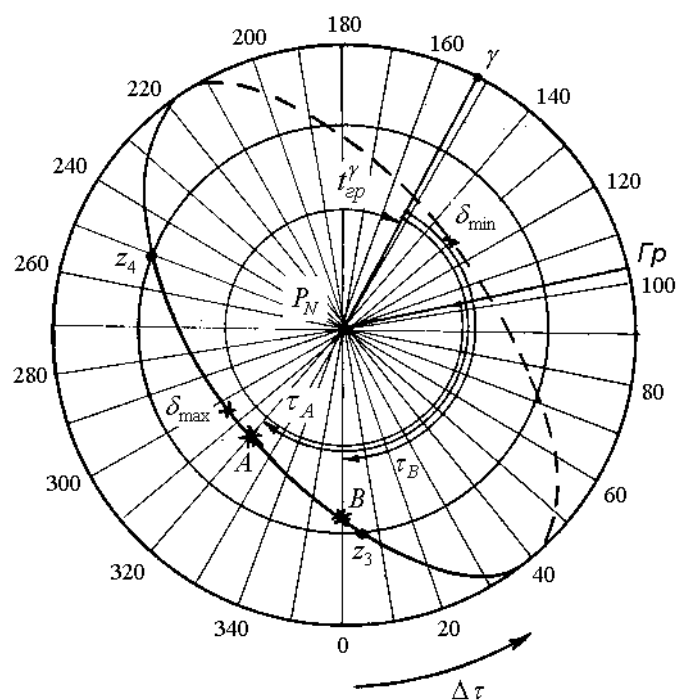


Рисунок 2 – Большой круг звёзд η - α Большой Медведицы

Разность звёздных дополнений

$$\Delta\tau = \tau_B - \tau_x, \quad (14)$$

точек В и максимального склонения x по (11)

$$\begin{aligned} \Delta\tau_{\max\delta} &= -52^\circ, 15585 \pm n \cdot 180^\circ; \\ \Delta\tau_{\max1} &= 52^\circ, 15585; \quad \Delta\tau_{\max2} = 127^\circ, 84415. \end{aligned} \quad (15.1)$$

Значения максимального склонения по (12) со значениями $\Delta\tau$ по (15.1) составляют

$$\delta_{\max1} = +62^\circ, 12396; \quad \delta_{\min2} = -62^\circ, 12396. \quad (15.2)$$

Точки экстремумов склонения также отмечены на большом круге ВА на рисунке 2.

Если склонение зенита наблюдателя, равное широте наблюдателя $\delta_z = \varphi_z$, находится в пределах

$$\delta_{\min} < \delta_z < \delta_{\max},$$

то представляет интерес нахождение точек пересечения ДБК ВА с небесной параллелью δ_z , в которых оба светила окажутся на одном вертикале. Для отыскания этих точек удобно воспользоваться формулой (4), принимая $\delta_x = \delta_z = \varphi_z$ и находя координату $\Delta\tau_x$. Заменяя в

(4) $\sin\Delta\tau_x = \sqrt{1 - \cos^2\Delta\tau_x}$ и обозначая $a = \text{ctg}B$; $b = \cos\delta_B \cdot \text{tg}\delta_x$; $c = \sin\delta_B$, получим

$$a\sqrt{1 - \cos^2\Delta\tau_x} = b - c \cos\Delta\tau_x,$$

откуда, возводя обе части в квадрат, получаем

$$(a^2 + c^2)\cos^2\Delta\tau_x - 2bc\cos\Delta\tau_x + (b^2 - a^2) = 0. \quad (16)$$

Решение этого квадратного уравнения

$$\cos\Delta\tau = \frac{bc \pm a\sqrt{a^2 - b^2 + c^2}}{a^2 + c^2}, \quad (17)$$

для условий примера расчёты по (17) дают

$$\cos\Delta\tau_1 = 0,99468; \quad \Delta\tau_1 = \pm 5^\circ, 913; \quad \cos\Delta\tau_2 = -0,34566; \quad \Delta\tau_2 = \pm 110^\circ, 222.$$

Решениями являются $\Delta\tau = 5^\circ, 9$ и $\Delta\tau = -110^\circ, 2$, которые отмечены на рисунке 2 точками Z_3 и Z_4 .

В процессе суточного движения небесной сферы (или перемещения точки зенита по небесной параллели) оба светила могут оказаться на одной высоте. При этом $\Delta h = 0$, а разность азимутов светил будет максимальной.

Для определения координаты τ точки зенита, из которой светила наблюдаются на одной высоте, рассмотрим два сферических треугольника PAZ и PBZ, рисунок 3.

В треугольнике PAZ₁ угол $P = \tau_A - \tau_{z_1}$, угол $Z = A_A$, сторона $PA = 90^\circ - \delta_A$, сторона $PZ = 90^\circ - \phi$, сторона $AZ = 90^\circ - h_A$.

В треугольнике PBZ₁ угол $P = \tau_{z_1} - \tau_B$, угол $Z = A_B$, сторона $PB = 90^\circ - \delta_B$, сторона $PZ = 90^\circ - \phi$, сторона $ZB = 90^\circ - h_B$.

В каждом треугольнике косинусы высот определяются по формуле косинуса стороны

$$\cos(90^\circ - h_A) = \cos(90^\circ - \delta_A)\cos(90^\circ - \varphi) + \sin(90^\circ - \delta_A)\sin(90^\circ - \varphi)\cos(\tau_A - \tau_z). \quad (18)$$

$$\cos(90^\circ - h_B) = \cos(90^\circ - \delta_B)\cos(90^\circ - \varphi) + \sin(90^\circ - \delta_B)\sin(90^\circ - \varphi)\cos(\tau_z - \tau_B). \quad (19)$$

Поскольку, по условию, высоты светил равны, приравняем правые части (18) и (19)

$$\sin\delta_A \sin\varphi + \cos\delta_A \cos\varphi \cos(\Delta\tau_{AZ}) = \sin\delta_B \sin\varphi + \cos\delta_B \cos\varphi \cos(\Delta\tau_{zB}), \quad (20)$$

$$\Delta\tau_{AZ} = \tau_A - \tau_z; \quad \Delta\tau_{zB} = \tau_z - \tau_B. \quad (21)$$

Обозначим $\Delta\tau = \tau_A - \tau_B$ и учтём, что

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{AZ} + \Delta\tau_{zB}, \quad (22)$$

откуда

$$\Delta\tau_{AZ} = \Delta\tau - \Delta\tau_{zB}. \quad (23)$$

Подставим (23) в (20):

$$\sin\delta_A \sin\varphi - \sin\delta_B \sin\varphi - \cos\delta_B \cos\varphi \cos(\Delta\tau_{zB}) = -\cos\delta_A \cos\varphi \cos(\Delta\tau - \Delta\tau_{zB}).$$

Обозначим

$$\begin{aligned} a &= \sin\varphi(\sin\delta_A - \sin\delta_B); \\ b &= \cos\varphi \cdot \cos\delta_B; \\ c &= \cos\varphi \cdot \cos\delta_A, \end{aligned} \quad \left| \begin{aligned} d &= b - c \cdot \cos\Delta\tau; \\ e &= c \cdot \sin\Delta\tau; \end{aligned} \right. \quad (24)$$

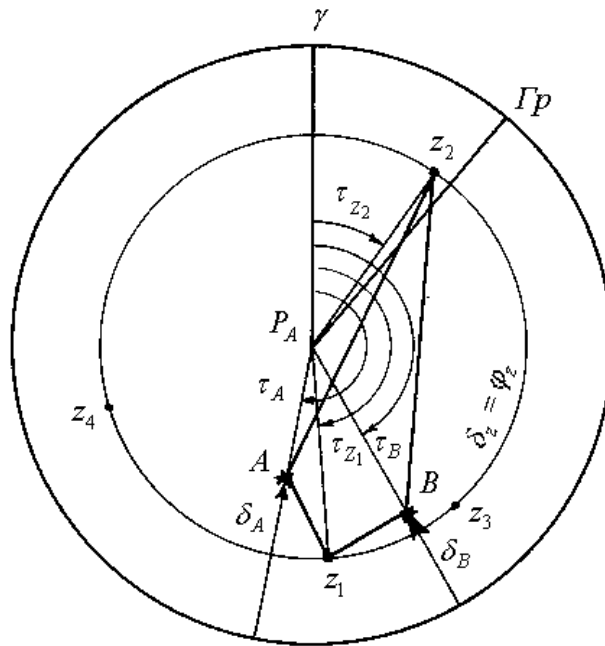


Рисунок 3 – Расположение точек зенита Z_1 и Z_2 , из которых светила наблюдаются с $\Delta h = 0$ и $\max \Delta A$

раскроем косинус разности и заменим $\sin \Delta \tau_{ZB}$ через косинус. Тогда

$$\begin{aligned} a - b \cos \Delta \tau_{ZB} &= -c (\cos \Delta \tau \cos \Delta \tau_{ZB} + \sin \Delta \tau \sin \Delta \tau_{ZB}); \\ a - (b - c \cos \Delta \tau) \cos \Delta \tau_{ZB} &= -c \sin \Delta \tau \sqrt{1 - \cos^2 \Delta \tau_{ZB}}; \\ (a - d \cos \Delta \tau_{ZB})^2 &= e^2 (1 - \cos^2 \Delta \tau_{ZB}); \\ a^2 - 2a d \cos \Delta \tau_{ZB} + d^2 \cos^2 \Delta \tau_{ZB} &= e^2 - e^2 \cos^2 \Delta \tau_{ZB}; \\ (d^2 + e^2) \cos^2 \Delta \tau_{ZB} - 2a d \cos \Delta \tau_{ZB} + a^2 - e^2 &= 0. \end{aligned}$$

Решение этого квадратного уравнения

$$\cos \Delta \tau_{ZB} = \frac{2ad \pm \sqrt{4a^2 d^2 - 4(a^2 - e^2)(d^2 + e^2)}}{2(d^2 + e^2)} = \frac{ad \pm e\sqrt{d^2 + e^2 - a^2}}{d^2 + e^2}. \quad (25)$$

Для условий примера

$$\begin{aligned} a &= 0,086799; \\ b &= 0,461720; \\ c &= 0,335680; \end{aligned} \left| \begin{aligned} d &= 0,207867; \\ e &= 0,219635; \end{aligned} \right. \quad (26)$$

$$\cos \Delta \tau_{ZB_1} = \frac{0,018043 \pm 0,063624}{0,091448};$$

$$\cos \Delta \tau_{ZB_1} = 0,89304; \quad \Delta \tau_{ZB_1} = \pm 26^\circ,743;$$

$$\cos \Delta \tau_{ZB_2} = -0,498436; \quad \Delta \tau_{ZB_2} = \pm 119^\circ,396.$$

Решениями являются $\Delta \tau_{ZB} = 26^\circ,74; -119^\circ,89$.

Для пересчёта полученных решений в величины долгот необходимо зафиксировать положение точки Овна относительно меридиана Гринвича на рассматриваемое время и дату

$$t_{ep}^y = 309^\circ 11',42 \text{ на } T_{ep} = 15.00 \text{ 15.12.2014 г.}$$

Пользуясь соотношением между гринвичским часовым углом точки Овна и произвольной точкой x

$$t_{ep}^x = t_{ep}^y + \tau^x, \quad (27)$$

соотношением (3), (14) $\Delta \tau_B = \tau_B - \tau_x$, откуда $\tau_x = \tau_B - \Delta \tau_x$ (точки Z_3, Z_4) или соотношением (21) $\Delta \tau_{ZB} = \tau_z - \tau_B$, откуда $\tau_z = \tau_B + \Delta \tau_{ZB}$ (точки Z_1, Z_2), а также принимая во внимание, что гринвичский часовой угол зенита – это вестовая долгота точки зенита наблюдателя

$$t_{ep}^z = \lambda_W^z, \quad (28)$$

получаем

$$t_{ep}^z = \lambda_W^z = t_{ep}^y + \tau^z. \quad (29)$$

Полученные в примерах значения $\Delta\tau$ позволяют вычислить следующие значения долгот характерных точек (таблица 2). Моделированием соответствующих условий на звёздном глобусе получены для широты $\phi = 45^\circ N$ приближённые значения долгот λ_{3r} , также представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Долготы λ_W , соответствующие характерным точкам большого круга $\alpha - \eta$ Б. Медведицы и наблюдателя с широтой $\phi = 45^\circ N$

Условие	Точки зенита	$\Delta\tau$	τ_z	λ	λ_{3r}
$\Delta A = 0$	Z_3, Z_4	5°,913	147°,061	96°,251W	95°W
Δh_{max}		-110°,222	263°,196	212°,386W = 147°,614E	144°E
$\Delta A = max$	Z_1, Z_2	26°,743	179°,717	128°,907W	131°W
$\Delta h = 0$		-119°,896	33°,078	342°,268W = 17°,714E	22°E

Полученные результаты позволяют более обоснованно подходить к выбору оптимальных условий для определения места судна по разностям высот и азимутов светил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пат. 2523100 Российская Федерация, МПК G01C 1/08. Секстан /Сичкарёв В.И. – Приоритет 28.02.13.
 2 Гаврюк, М.И. Астронавигационные определения места судна /М.И. Гаврюк. – Москва: Транспорт, 1973. – 176 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *большой круг двух звёзд, параллель зенита наблюдателя, разность высот светил, разность азимутов светил, характерные точки*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Сичкарев Виктор Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПРЯМОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБСЕРВОВАННЫХ КООРДИНАТ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ РАЗНОСТЕЙ ВЫСОТ И АЗИМУТОВ СВЕТИЛ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.И. Сичкарев

CALCULATION OF OBSERVATION CO-ORDINATES BY DIFFERENCE OF ALTITUDE AND AZIMUTH OF HEAVENLY BODIES
 Siberian state university of water transport

V.I. Sichkarev

Devise succession of calculation ship's coordinates by measurement difference of altitude and difference of azimuth of heavenly bodies, making by sextant with rotary big mirror.

Keywords: sextant with swivel large mirror, difference of altitude, difference of azimuth, algorithm for calculating coordinates observed

Получен алгоритм аналитического расчёта обсервованных координат места судна по измерениям разности высот и разности азимутов двух светил, выполненных секстаном с поворотным большим зеркалом согласно патента 2014 года.

В современных условиях мореходная астрономия в основном занимает нишу аварийных методов судовождения. К настоящему времени в реальном судовождении осталась только задача определения поправки компаса, ранее считавшаяся достаточно лёгкой. Соответственно изменившейся роли изменился и научный интерес к мореходной астрономии. А многие методы, представленные М.И. Гаврюком в [1], так и остались нереализованными. Отчасти это объясняется и тем, что для реализации некоторых методов не были созданы простые, удобные, автономные технические средства наблюдений. В свою очередь, и разработки таких технических средств не вызывала интереса у исследователей в силу снижения роли мореходной астрономии в практическом судовождении.

Среди основных недостатков методов мореходной астрономии по определению места судна (ОМС) с использованием традиционного секстана можно указать на необходимость наличия чётко просматриваемого видимого горизонта, из-за чего весь ночной период с множеством видимых звёзд выпадал из работы. Дополнительно к этому из наблюдений выпадали периоды плохой видимости горизонта по метеорологическим причинам. Ещё один не-

достаток традиционных методов ОМС – неудовлетворительное описание поправки за наклонение видимого горизонта для любых условий плавания, что приводило к снижению точности астрономического ОМС.

Устранение отмеченных недостатков может быть достигнуто применением усовершенствованного секстана с поворотным большим зеркалом [2]. Поворотное большое зеркало позволяет приводить дважды отражённый луч светила на вертикал прямовидимого светила с фиксацией разности азимутов этих светил. Затем в плоскости одного вертикала совмещать дважды отражённый луч с прямовидимым, фиксируя разность высот светил.

Одновременно с разработкой нового усовершенствованного секстана необходимо разрабатывать методы ОМС. В разработках М.И. Гаврюка [1] среди способов ОМС по комбинациям различных параметров случай одновременного измерения разности высот и разности азимутов не рассматривался.

Ранее был рассмотрен аналитический способ расчёта обсервованного места по измеренным разности высот и азимутов двух светил [3]. Задачу удалось свести к системе трансцендентных уравнений, что, очевидно, уже должно предполагать только компьютерное решение. Однако, дальнейшие поиски решения привели к возможности сведения задачи к биквадратному уравнению, решение которого позволяет выстроить последовательность прямого расчёта обсервованных координат, что снижает сложность задачи ОМС до возможностей калькуляторного расчёта.

Рассмотрим полученное решение. Представим небесную сферу в проекции на плоскости небесного экватора, (рисунок 1).

Два наблюдаемых светила А и В заданы склонениями и звездными дополнениями $\delta_A, \tau_A, \delta_B, \tau_B$. Положение зенита наблюдателя Z задано искомыми координатами $\delta^z = \varphi_z, \tau_z$. Вертикалы светил А и В представлены дугами больших кругов ZA и ZB.

При совмещении в процессе секстанных измерений вертикала светила А (более высокое из двух светил) с вертикалом В измеряется угол между вертикалами ΔA -разность азимутов двух светил. В результате совмещения вертикалов светило А окажется в точке F выше светила В на величину Δh -измеряемую разность высот светил. Таким образом, в процессе измерений будут получены разность высот Δh и разность азимутов ΔA .

Соединим на небесной сфере светила А и В дугой большого круга АВ и выделим на небесной сфере два сферических треугольника APB и AZB.

В треугольнике APB стороны $AB = S, AP = 90^\circ - \delta_A, BP = 90^\circ - \delta_B$; углы $APB = \Delta\tau = \tau_A - \tau_B, PAB = A_p$.

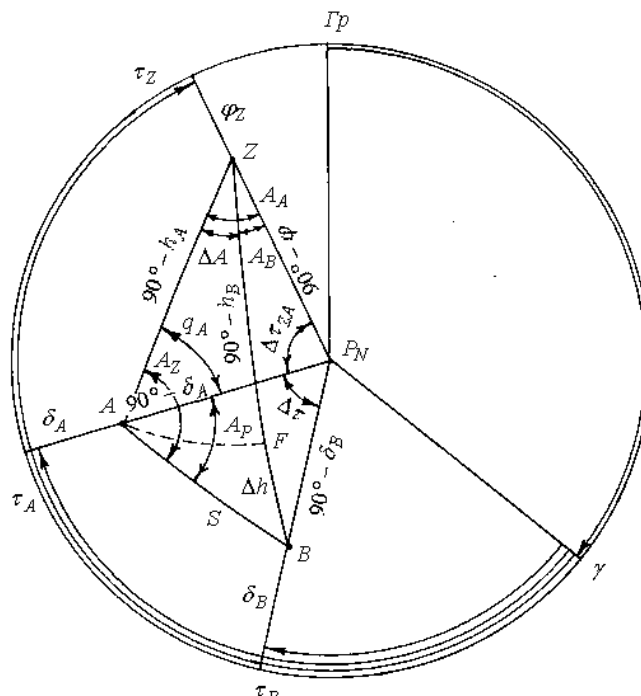


Рисунок 1 – Расположение произвольных светил А, В, зенита наблюдателя Z и полюса P_N на небесной сфере

В треугольнике AZB стороны $AZ = 90^\circ - h_A$; $BZ = 90^\circ - h_B$; $AB = S$; углы $AZB = \Delta A$; $ZAB = A_Z$.

Найдём из треугольника APB сторону S и угол A_P .

По формуле косинуса стороны S

$$\cos S = \cos(90^\circ - \delta_A) \cos(90^\circ - \delta_B) + \sin(90^\circ - \delta_A) \sin(90^\circ - \delta_B) \cos \Delta \tau,$$

откуда
$$\cos S = \sin \delta_A \sin \delta_B + \cos \delta_A \cos \delta_B \cos \Delta \tau. \quad (1)$$

По формуле косинуса стороны $(90^\circ - \delta_B)$

$$\cos(90^\circ - \delta_B) = \cos(90^\circ - \delta_A) \cos S + \sin(90^\circ - \delta_A) \sin S \cos A_P,$$

откуда
$$\cos A_P = \frac{\sin \delta_B - \sin \delta_A \cos S}{\cos \delta_A \sin S}. \quad (2)$$

В этом треугольнике при совмещении вертикала светила A с вертикалом светила B светило A окажется выше светила B на величину Δh , следовательно

$$ZB = ZA + \Delta h, \text{ или } 90^\circ - h_B = 90^\circ - h_A + \Delta h,$$

откуда
$$h_A = h_B + \Delta h. \quad (3)$$

Из треугольника AZB найдём сторону S по формуле косинуса стороны

$$\cos S = \cos(90^\circ - h_A) \cos(90^\circ - h_B) + \sin(90^\circ - h_A) \sin(90^\circ - h_B) \cos \Delta A,$$

откуда
$$\cos S = \sin h_A \sin h_B + \cos h_A \cos h_B \cos \Delta A.$$

Заменим здесь высоту Δh по (3)

$$\cos S = \sin(h_B + \Delta h) \sin h_B + \cos(h_B + \Delta h) \cos h_B \cos \Delta A,$$

и выполним преобразования относительно \cosh_B

$$\cos^4 h_B + (2b \cos \Delta h - \sin^2 \Delta h) \cos^2 h_B + b^2 = 0, \quad (4)$$

где
$$b = \frac{\cos S - \cos \Delta h}{1 - \cos \Delta A}.$$

Решение этого биквадратного уравнения

$$\cos^2 h_B = \frac{c \pm \sqrt{c^2 - 4b^2}}{2}, \quad (5)$$

где
$$c = \sin^2 \Delta h - 2b \cos \Delta h.$$

По найденной величине h_B определяется и h_A по (3).

Из этого же треугольника AZB найдём угол A_Z по формуле косинуса стороны

$$\cos(90^\circ - h_B) = \cos(90^\circ - h_A) \cos S + \sin(90^\circ - h_A) \sin S \cos A_Z,$$

откуда
$$\cos A_Z = \frac{\sin h_B - \sin h_A \cos S}{\cos h_A \sin S}. \quad (6)$$

Обратимся к параллактическому треугольнику AZP, в котором известна сторона $AP = 90^\circ - \delta_A$ и вычислена сторона $ZA = 90^\circ - h_A$. Третий элемент параллактического треугольника – параллактический угол $ZAP = q_A$ можно вычислить, используя ранее полученные величины A_P по (2) и A_Z по (6)

$$q_A = A_Z - A_P. \quad (7)$$

Таким образом, в параллактическом треугольнике становятся известными две стороны и угол между ними, что позволяет вычислить и остальные элементы.

Сторона $ZP = 90^\circ - \varphi_Z$ определится по формуле косинуса стороны

$$\cos(90^\circ - \varphi_Z) = \cos(90^\circ - h_A) \cos(90^\circ - \delta_A) + \sin(90^\circ - h_A) \sin(90^\circ - \delta_A) \cos q_A,$$

откуда
$$\sin \varphi = \sin h_A \sin \delta_A + \cos h_A \cos \delta_A \cos q_A. \quad (8)$$

Угол $ZPA = \Delta \tau_{ZA} = \tau_Z - \tau_A$ определяется по формуле четырёх рядом лежащих элементов

$$\operatorname{ctg} \Delta \tau_{ZA} \sin q_A = \operatorname{ctg}(90^\circ - h_A) \sin(90^\circ - \delta_A) - \cos(90^\circ - \delta_A) \cos q_A,$$

откуда
$$\operatorname{ctg} \Delta \tau_{ZA} = \frac{\operatorname{tg} h_A \cos \delta_A - \sin \delta_A \cos q_A}{\sin q_A}. \quad (9)$$

По вычисленной величине $\Delta \tau_{ZA}$ определяется звёздное дополнение зенита τ_Z

$$\tau_Z = \tau_A + \Delta \tau_{ZA}. \quad (10)$$

Учитывая, что вестовый часовой угол зенита t_W^Z суть вестовая долгота зенита, получаем

$$t_{ep}^Z = t_{ep}^{\gamma} + \tau_Z \equiv \lambda_W^Z. \quad (11)$$

Таким образом, по (8) и (11) определяются искомые координаты зенита наблюдателя, то есть координаты обсервованного места.

Дополнительно можно определить азимуты наблюдаемых светил. Из параллактического треугольника AZP по формуле четырёх рядом лежащих элементов

$$\operatorname{ctg} A_A \sin q_A = \operatorname{ctg}(90^\circ - \delta_A) \sin(90^\circ - h_A) - \cos(90^\circ - h_A) \cos q_A,$$

откуда котангенс азимута светила A

$$\operatorname{ctg} A_A = \frac{\operatorname{tg} \delta_A \cos h_A - \sin h_A \cos q_A}{\sin q_A}. \quad (12)$$

Из треугольника ZBP

$$\cos(90^\circ - \delta_B) = \cos(90^\circ - h_B) \cos(90^\circ - \varphi_Z) + \sin(90^\circ - h_B) \sin(90^\circ - \varphi_Z) \cos A_B,$$

откуда косинус азимута светила B

$$\cos A_B = \frac{\sin \delta_B - \sin h_B \sin \varphi_Z}{\cos h_B \cos \varphi_Z}. \quad (13)$$

Рассмотренный на рисунке 1 случай с определением параллактического угла q является частным случаем взаимного расположения светил A и B, зенита Z и полюса P. Все варианты взаимного расположения этих точек и границы смены типа расчётного выражения для угла q представлены на рисунке 2.

Зоны смены расчётного выражения разделяются большим кругом светил BA и вертикалом светила A, то есть большим кругом ZA. Эти два круга делят поверхность небесной сферы на четыре области, образованные двумя парами вертикальных сферических углов: bAc, bAd, aAc, aAd. Расположение полюса мира в каждой из этих зон приводит к различным видам расчётного выражения параллактического угла q :

– в зоне bAc $q = A_Z - A_P;$ (14)

– в зоне bAd $q = A_Z + A_P;$ (15)

– в зоне aAc $q = -(A_Z - A_P) = A_P - A_Z;$ (16)

– в зоне aAd $q = 360^\circ - (A_Z + A_P).$ (17)

На рисунке 3 представлено, как формируются выражения (14-17) для каждой из выделенных зон.

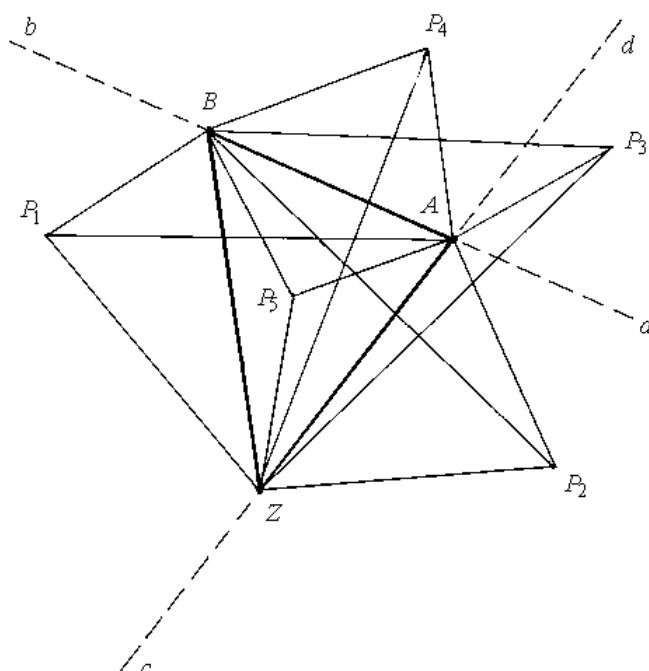
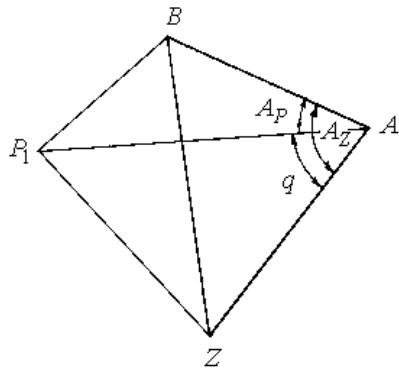
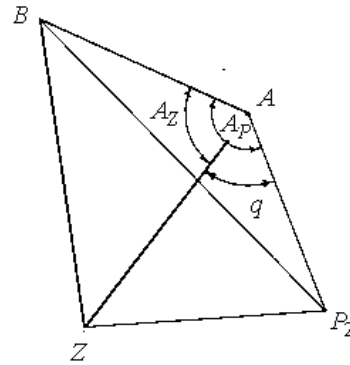


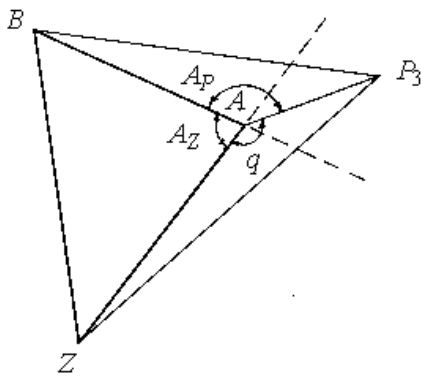
Рисунок 2 – Варианты взаимного расположения светил A и B, зенита Z и полюса P с границами ab и cd смены вида расчётного выражения параллактического угла q



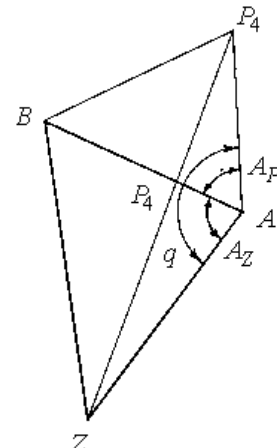
а) полюс P в зоне вAc $q = A_z - A_p$



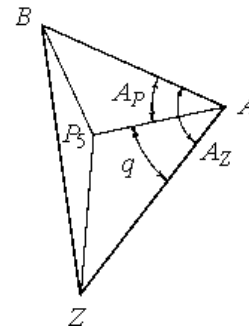
б) полюс P в зоне аAc $q = A_p - A_z$



в) полюс P в зоне аAd $q = 360^\circ - (A_z + A_p)$



г) полюс P в зоне bAd $q = A_z + A_p$



д) полюс P в зоне bAc $q = A_z - A_p$

Рисунок 3 – Геометрическое формирование формулы паралактического угла q в различных зонах

Ориентировка расположения полюса в той или иной зоне осуществляется достаточно просто при наличии на судне компаса и хотя бы приблизительного знания числимой широты, по которой можно вычислить зенитное расстояние полюса $Z_p = 90^\circ - \varphi$. Зенитные расстояния наблюдаемых звёзд сравниваются непосредственно: более высоко расположенная звезда принимается за звезду сравнения А. Направление на эту звезду от зенита Z наблюдателя – это делительная линия cd. Делительная линия ab – это большой круг, соединяющий светила А и В.

С использованием компаса ориентировка осуществляется следующим образом.

Компасное направление на нрд – это направление на полюс P (в южном полушарии – направление на зюйд). Пеленги на светила – это направления ZA и ZB, по которым откладываются ориентировочные зенитные расстояния звёзд (с точностью – какое больше, какое меньше). Далее необходимо сравнить зенитное расстояние полюса с зенитными расстояниями звёзд (на уровне: больше – меньше) и изобразить всё это на схеме, аналогичной рисунку 2.

Таким образом, алгоритм наблюдений светил и расчёта координат обсервованного места судна по наблюдениям разностей высот и разностей азимутов светил следующий.

– Выбрать светила для наблюдений. Наилучшие условия – когда светила располагаются примерно на одной высоте вблизи меридиана наблюдателя. Выполнить пеленгование светил, оценить зенитные расстояния светил и полюса, определить зону расположения полюса относительно зенита и светил.

– На момент T секстанного наблюдения разностей высот Δh и разностей азимутов светил ΔA получить числяемые координаты, выбрать эфемериды светил и точки Овна δ_A , δ_B , τ_A , τ_B , $t_{сп}^y$.

- Рассчитать видимое расстояние S между светилами по (1) и угол A_p по (2).
- Рассчитать высоту h_B светила В по (5) и высоту h_A светила А по (3).
- Рассчитать угол A_z по (6).
- Рассчитать по одной из формул (14-17), в соответствии с расположением полюса относительно светил и зенита, параллактический угол q .
- Рассчитать широту зенита ϕ_z по (8).
- Рассчитать полярный угол $\Delta\tau_{ZA}$ по (9) и звёздное дополнение зенита τ_z по (10).
- Рассчитать восточную долготу зенита λ_W^z по (11) и при необходимости перевести её в остовую величину.
- При необходимости рассчитать азимуты светил A_A и A_B по (12, 13).

В качестве примера расчёта координат обсервованного места по приведённому алгоритму рассмотрим следующие прямую и обратную задачи.

Прямая задача. На гринвичское время $T_{ep} = 15.00 : 00$ 15 декабря 2014 года вычислены высоты и азимуты двух светил: α и η Большой Медведицы.

Эфемериды светил:

- α Большой Медведицы: $\delta_A = 61^\circ 39', 52 N$; $\tau_A^* = 193^\circ 50', 43$;
- η Большой Медведицы: $\delta_B = 49^\circ 14', 04 N$; $\tau_B^* = 152^\circ 58', 44$.

Положение точки Овна: $t_{ep}^{\gamma} = 309^\circ 11', 42$.

В точке с координатами $\varphi = 55^\circ 00', 0 N$, $\lambda = 84^\circ 00', 0 E$ вычислены высоты и азимуты светил:

- α Большой Медведицы: $h_A = 32^\circ 22', 14$; $A_A = 24^\circ, 28$;
- η Большой Медведицы: $h_B = 14^\circ 21', 73$; $A_B = 4^\circ, 15$.

По этим данным вычислены:

- разность высот $\Delta h = h_A - h_B = 18^\circ 00', 41$;
- разность азимутов $\Delta = A_A - A_B = 20^\circ, 13$;
- разность звёздных дополнений $\Delta\tau = \tau_A - \tau_B = 40^\circ 51', 99$.

Обратная задача. Примем $\Delta h = 18^\circ 00', 41$, $\Delta A = 20^\circ, 13$, а также вышеуказанные эфемериды светил и точки Овна на $T_{ep} = 15.00 : 00$ 15 декабря 2014 года. Вычислим по этим данным координаты места наблюдателя, пользуясь разработанным алгоритмом.

– Определим зону расположения полюса относительно светил и зенита: зона bAc ; $q = A_z - A_p$.

- Эфемериды светил и точки Овна имеются (см. прямую задачу).
- Рассчитаем S и A_p :

$$S = 25^\circ, 708326 ; A_p = 99^\circ, 965168 .$$

- Рассчитаем высоту светил В и А и угол A_z

$$h_B = 14^\circ 19', 8 ; h_A = 32^\circ 20', 2 ; A_z = 129^\circ, 752786 .$$

- Рассчитаем параллактический угол

$$q = A_z - A_p = 29^\circ, 787618 .$$

- Рассчитываем широту места наблюдателя

$$\varphi = 55^\circ 01', 45 N .$$

- Рассчитаем полярный угол $\Delta\tau_{ZA}$ и τ_z

$$\Delta\tau_{ZA} = 132^\circ, 959309 ; \tau_z = 326^\circ, 799809 .$$

- Рассчитаем долготу места наблюдателя

$$\lambda_W = 275,990142 W = 84^\circ, 009857 E = 84^\circ 00', 35 E .$$

- Сравнение результата с исходными данными (таблица)

Таблица – Сравнение результата с исходными данными

Задано	Получено	Погрешность
$\varphi = 55^\circ, 00', 0 N$	$\varphi = 55^\circ, 01', 4 N$	$\Delta\varphi = 1', 4$
$\lambda = 84^\circ, 00', 0 E$	$\lambda = 84^\circ, 00', 4 E$	$\Delta\lambda = 0', 4$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гаврюк, М.И. Астронавигационные определения места судна / М.И. Гаврюк. -Москва: Транспорт, 1973. -176 с.
2 Пат. 2523100 Российская Федерация, МПК G01C 1/08. Секстан / Сичкарёв В.И. – Приоритет 28.02.13.
3 Сичкарёв, В.И. Аналитическое определение места судна по наблюдениям разностей высот и азимутов двух светил / В.И. Сичкарёв // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. – 2012. -№ 1. -С. 210-215.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: секстан с поворотным большим зеркалом, разность высот, разность азимутов светил, алгоритм расчёта обсервованных координат

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Сичкарев Виктор Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАбельНОСТИ ВИРТУАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ DGPS-СТАНЦИИ

НОУ ВПО «Дальневосточный институт коммуникаций»

Ю.А. Комаровский

A STUDY OF VARIABILITY OF THE VIRTUAL DISTANCE WITHIN RANGE OF THE DGPS STATION

Far-Eastern institute of communications

Yu.A. Komarovskiy

We suggest a new criterion for assessing the accuracy of a vessel's GPS-receiver. It is based on the summation of the increments of the coordinates of a stationary vessel for a specified period of time near the DGPS station the value of such a criterion can reach 36.87 meters during 10 minutes. Our study will help to develop a model of the error in determining the distance traveled by a vessel.

Keywords: GPS-receiver, virtual distance, differential corrections, DGPS station

Предложен новый критерий для оценки точности работы судового GPS-приёмника. Он основан на суммировании приращений координат неподвижного судна за установленный интервал времени. Вблизи дифференциальной станции величина такого критерия может достигать 36,87 м за 10 минут. Выполненное исследование поможет разработать модель формирования погрешности определения проходимого судном расстояния.

Традиционно случайную составляющую точности определения координат судна, получаемых GPS-приёмником, оценивают с помощью эмпирической средней квадратической погрешности (СКП). Эта точечная статистическая характеристика весьма полезна для сравнения точности работы разного типа судовых GPS-приёмников. Помимо задач сравнения GPS-приёмников в последнее время всё чаще возникает необходимость исследования их приспособленности для построения алгоритмов вычисления проходимых судном расстояний. Здесь СКП плановых координат не может использоваться напрямую, и поэтому требуется иная, более чувствительная характеристика точности. Цель данной статьи заключается в обосновании критерия оценки пригодности данного типа GPS-приёмника для определения проходимого судном расстояния в зонах действия дифференциальных станций.

Судовой GPS-приёмник предоставляет возможность определять проходимое расстояние с помощью вектора абсолютной скорости или с помощью учёта приращений обсервованных координат. Вектор абсолютной скорости в GPS-аппаратуре вычисляется по результатам обработки доплеровских сдвигов несущих частот всех спутников, находящихся в данный момент в зоне радиовидимости [1]. Текущие обсервованные координаты оцениваются по измерениям псевдодальностей до спутников. В данной статье рассматривается алгоритм учёта перемещения фазового центра антенны судового GPS-приёмника по элементарным сдвигам обсервованных широт и долгот. На первый взгляд, такой алгоритм прост, но он пока не реализуется в профессиональных судовых GPS-приёмниках из-за отсутствия исследований влияния внешних факторов на потенциальную точность алгоритма. Одним из таких факторов выступает близость к станциям, транслирующим дифференциальные поправки.

Будем рассматривать такое расстояние, на которое якобы перемещается антенна GPS-приёмника неподвижного судна вследствие флуктуации определяемых обсервованных координат. Понятно, что чем выше дисперсия обсервованных координат, тем больше будет это расстояние, накопленное за определённый промежуток времени. Назовём такое расстояние виртуальным. Пусть в моменты времени t_{i-1} и t_i GPS-приёмник определяет геодезические координаты $(\varphi_{i-1}, \lambda_{i-1})$ и (φ_i, λ_i) соответственно. Условимся, что моменты времени измерения координат наступают через равные промежутки $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$. Понятно, что величи-

на Δt_i будет кратна периоду обновления обсервованных координат в GPS-приёмнике. Обозначим через $\Delta\varphi_i$ и $\Delta\lambda_i$ разность широт и разность долгот в угловых минутах соответственно, где $\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_{i-1}$, $\Delta\lambda_i = \lambda_i - \lambda_{i-1}$.

Геодезические координаты (широта φ и долгота λ) являются угловыми величинами. На референц-эллипсоидах и на морских картах меркаторской проекции линейные масштабы вдоль меридиана и вдоль параллелей не одинаковы и изменяются в зависимости от широты. Поэтому для вычисления величины виртуального расстояния в линейных единицах (метрах, километрах, милях) следует перейти к прямоугольной системе координат, начало которой O совпадает с локальным условным началом отсчёта геодезических координат, ось X направлена по параллели в сторону востока, а ось Y имеет положительное направление на север и совпадает с меридианом. Будем считать, что линейные масштабы вдоль осей X и Y будут одинаковы. Примем расстояние между точками с координатами $(\varphi_{i-1}, \lambda_{i-1})$ и (φ_i, λ_i) малым, не превосходящим нескольких метров. Получим формулы для вычисления с высокой точностью расстояния ΔS_i в метрах между точками с координатами $(\varphi_{i-1}, \lambda_{i-1})$ и (φ_i, λ_i) . Вычисление элементарного виртуального расстояния ΔS_i можно осуществить через расчёты линейных смещений вдоль параллели Δx_i и вдоль меридиана Δy_i как линейных эквивалентов разности долгот и разности широт соответственно.

$$\Delta x_i = \Delta\lambda_i I_p = (\lambda_i - \lambda_{i-1}) I_p; \quad \Delta y_i = \Delta\varphi_i I_m = (\varphi_i - \varphi_{i-1}) I_m,$$

где I_p, I_m – длины в метрах дуги одной минуты параллели и дуги одной минуты меридиана соответственно

$$I_m = \frac{a(1-e^2)\text{arc}1'}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\varphi_{CP})^3}}; \quad I_p = \frac{a\text{arc}1'\cos\varphi_{CP}}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi_{CP}}},$$

где a, e – большая полуось в метрах и первый эксцентриситет данного референц-эллипсоида;

φ_{CP} – средняя широта

$$\varphi_{CP} = (\varphi_{i-1} + \Delta\varphi_i)/2.$$

Величину элементарного виртуального расстояния ΔS_i в метрах, на которое якобы перемещается антенна GPS-приёмника за элементарный интервал времени Δt_i с момента t_{i-1} до момента t_i , можно вычислить как

$$\Delta S_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}.$$

Отсюда общая протяжённость виртуального расстояния S за n -одинаковых элементарных интервалов времени определится формулой (1)

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta S_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}. \quad (1)$$

Пусть продолжительность интервала времени $\Delta t_i \rightarrow 0$, а $n \rightarrow \infty$. Тогда величина общего виртуального расстояния траектории L определится следующим криволинейным интегралом первого рода

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n dS = \int_L dS = \int_L \sqrt{1+(y')^2} dx, \quad (2)$$

где y' – первая производная функции изменения расстояния вдоль меридиана.

Ввиду непредсказуемости характера изменения обсервованных координат заранее невозможно задать функцию, описывающую это изменение в формуле (2). Поэтому для практических вычислений виртуального расстояния следует отдать предпочтение формуле (1). Из формулы (1) следует, что при увеличении флуктуационных отклонений обсервованных координат GPS-приёмника неподвижного судна виртуальное расстояние будет увеличиваться.

В формуле (1) под корнем стоят положительные случайные величины, поэтому виртуальное расстояние S также будет случайной величиной. Чтобы изучить свойства её распределения, воспользуемся результатами экспериментальных наблюдений, выполненных автором в районе мыса Поворотного (залив Находка Японского моря) на расстоянии 2,48 мили от дифференциальной станции.

Экспериментальные наблюдения проводились с 9 октября по 20 октября 2012 г. с кратковременными перерывами из-за прекращения подачи электроэнергии. Судовой приёмник GP-37, изготовленный компанией Furuno, во время наблюдений находился в режиме автоматического приёма дифференциальных поправок на несущей частоте 306,5 кГц с темпом передачи информации 200 BPS. Мощность принимаемого сигнала колебалась возле величины 55 dB. Отношение сигнала к шуму (SNR) составляло 22 dB. Данные от приёмника GP-37 ежесекундно записывались в стандарте NMEA 0183 на жёсткий диск ноутбука. Обработка собранного статистического материала проводилась по формуле (1) при $n = 600$. Всего было обработано 1548 десятиминутных непересекающихся интервалов. В дальнейшем виртуальное расстояние, полученное за 10-минутный интервал, рассматривалась как случайная величина.

Основные статистические характеристики эмпирического распределения 10-минутного виртуального расстояния приёмника GP-37 вычислялись стандартными приёмами. Исключение составили лишь эмпирическая мода и эмпирическая медиана. Они вычислялись как непараметрические позиционные характеристики распределения случайной величины с помощью методов, предложенных в работе [2]. Результаты обработки можно видеть в таблице.

Из таблицы следует, что в результате флуктуаций обсервованных координат кажущееся проходимое расстояние в среднем достигает 21,7836 м (0,0363 м/с). При этом минимальное виртуальное расстояние может составить 14,567 м (0,0243 м/с), а максимальное – 36,874 м (0,0615 м/с). По неожиданно большому размаху варьирования виртуального расстояния можно сделать вывод о том, что в зоне приёма дифференциальных поправок имеет место нестационарный случайный процесс изменения обсервованных координат, обладающих значительной вариабельностью дисперсии. Судя по величинам коэффициента асимметрии и эксцесса, распределение виртуального расстояния не подчиняется закону Гаусса. Представление о виде графика плотности вероятности распределения можно получить по гистограмме.

Анализ гистограммы позволяет сделать вывод о том, что плотность вероятности распределения виртуального расстояния представляет собой унимодальное асимметричное островершинное распределение, близкое к логарифмическому нормальному. Чтобы получить аналитическое выражение закона распределения виртуального расстояния, необходимы дальнейшие исследования, связанные с вычислениями при других интервалах интегрирования, отличных от 10 минут.

На первый взгляд, виртуальное расстояние можно рассматривать в качестве накапливаемой погрешности проходимого судном расстояния, рассчитываемого по приращениям обсервованных координат. Отсюда можно сделать также ложный вывод о возможности применения виртуального расстояния как поправки. На самом деле, погрешности подсчёта проходимого расстояния по приращениям координат будут гораздо меньше виртуальных расстояний, так как флуктуации обсервованного места судна будут взаимно компенсироваться

Таблица – Статистические характеристики распределения 10-минутных виртуальных расстояний неподвижного GPS-приёмника GP-37 в зоне действия дифференциальной станции мыса Поворотного

Характеристика	Величина
Среднее виртуальное расстояние, м	21,7836
Среднее квадратическое отклонение, м	2,8608
Эксцесс	3,0153
Асимметрия	1,1239
Мода, м	21,355
Медиана, м	21,513
Минимальное значение, м	14,567
Максимальное значение, м	36,874
Размах варьирования, м	22,307
Объём выборки	1548

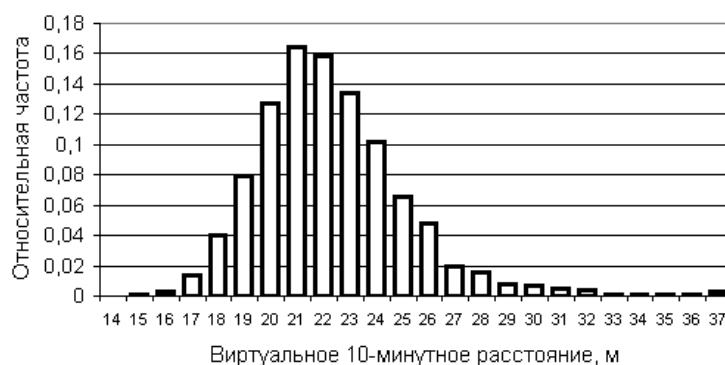


Рисунок – Гистограмма распределения виртуального расстояния, полученного из наблюдений у мыса Поворотного в 2012 г.

вдоль вектора абсолютного перемещения судна. Причём с увеличением времени движения на одном и том же курсе погрешность будет уменьшаться. Таким образом, на основании работы [3], можно предположить меньшие погрешности проходимых расстояний при движении судна вдоль меридиана, нежели при движении по параллели.

Подводя итог, необходимо остановиться на следующих выводах.

– предложенный критерий точности работы судового GPS-приёмника в отличие от СКП учитывает систематические погрешности обсервованных координат, которые, как показано в работе [4], не устраняются дифференциальными поправками.

– высокий уровень вариабельности виртуального расстояния, обусловленный значительными флуктуациями обсервованных координат вблизи DGPS-станции, вызывает необходимость отдельного изучения суточных трендов точности работы судовой GPS-аппаратуры, принимающей дифференциальные поправки.

– дальнейшие исследования вариабельности предложенного критерия создадут основу для построения математической модели формирования погрешности подсчёта по приращениям обсервованных координат проходимого судном расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1 : монография / К. М. Антонович; ГОУ ВПО «Сиб. гос. геодез. акад.». -Москва: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. -334 с.
- 2 Комаровский, Ю. А. Вычисление непараметрических позиционных характеристик эмпирического распределения погрешностей координат GPS-приёмника / Ю. А. Комаровский // Вестн. Мор. гос. ун-та им. адм. Г.И. Невельского. Сер. Автомат. упр., мат. моделирование и информ. технологии. -Владивосток, 2012. -Вып. 51. -С. 54-60.
- 3 Кац, В. А. Форма фигуры погрешностей координат вблизи морской DGPS-станции / В. А. Кац, Ю. А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2014. -№ 3. -С. 105-110.
- 4 Комаровский, Ю. А. Сезонные изменения точности координат дифференциального режима работы GPS-приёмника на морском шельфе / Ю. А. Комаровский // Гидротехника. -2014. -№ 4. -С. 111-113.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: GPS-приёмник, виртуальное расстояние, дифференциальные поправки, станция DGPS
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, доцент НОУ ВПО «ДВИК»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690013, г.Владивосток, ул.Каплунова, 7, НОУ ВПО «ДВИК»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОГО ЧИСЛА ИЗМЕРЕНИЙ ОСТАТОЧНЫХ ТОЛЩИН НА УЧАСТКЕ ЭЛЕМЕНТА СВЯЗИ КОРПУСА СУДНА НА ОСНОВЕ ОЦЕНОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ЗАПАСА ТОЛЩИН И РЕКОМЕНДУЕМЫХ СКОРОСТЕЙ ИЗНАШИВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

П.А. Бимбереков

DETERMINATION OF NEEDED NUMBER OF MEASUREMENTS OF RESIDUAL THICKNESSES ON PART OF SHIP HULL CONNECTION ELEMENT ON BASE OF RELATIONSHIPS FOR RESERVE OF THICKNESSES AND RECOMMENDED RATES OF WEAR

Siberian state university of water transport
 P.A. Bimberekov

It was obtained relationships allowing to determine needed number of measurements of residual thicknesses on part of ship hull connection element depending on term of it's operation, it were made conclusions about terms of applicability of existing methods of measurements in different terms of ships operation subject of supervision of Russian River Registry (RRR).

Keywords: needed number of measurements of residual thicknesses, wear thickness, wear rate, term of operation

Получены графические зависимости, позволяющие определить потребное число измерений остаточных толщин на участке элемента связи корпуса судна в зависимости от срока его эксплуатации, сделаны выводы о сроках применимости существующих методик обмеров при разных сроках эксплуатации судов, поднадзорных Российскому Речному Регистру (РРР).

Для определения потребного числа измерений остаточных толщин на участке элемента n_y , в [1] автором получено следующее выражение

$$n_y \geq \frac{1}{6} \left[\left(C_1 + \frac{8}{3} \sqrt{C_2} \right)^{\frac{1}{3}} + \left(C_1 - \frac{8}{3} \sqrt{C_2} \right)^{\frac{1}{3}} \right] - \frac{a}{3} + 1, \quad (1)$$

$$C_1 = -8a^3 + 36ab - 108c; \quad (2)$$

$$C_2 = -5a^6 + 45a^4b - 162a^2b^2 + 243b^3 + 108a^3c - 486abc + 729c^2; \quad (3)$$

$$a = 1 - \frac{k_5^2 \sigma^2}{\varepsilon^2(P)}; b = -\frac{k_5^2 \sigma^2}{\varepsilon^2(P)} 2\xi_1; c = -\frac{k_5^2 \sigma^2}{\varepsilon^2(P)} \xi_1^2; \quad (4)$$

где σ – стандартное отклонение среднего значения остаточных толщин, которое определяем на основе коэффициента вариации ν , средней скорости изнашивания C и периода эксплуатации судна T выражением

$$\sigma = \nu CT; \quad (5)$$

$\varepsilon(P)$ – доверительная граница случайной погрешности измерения, при которой будет обеспечена достаточная для освидетельствования точность результата, определяемая формулой

$$\varepsilon(P) = \frac{\Delta t - \Delta t_{uz} + \Delta_2 - K\theta(P)}{K}; \quad (6)$$

где Δt – запас толщин на износ связей;

Δt_{uz} – износ связи в зависимости от скорости изнашивания C и срока эксплуатации судна (или связи) T , определяемый выражением

$$\Delta t_{uz} = CT; \quad (7)$$

K – коэффициент, для которого при доверительных вероятностях $P = 0,95$ и $P = 0,99$ может быть взято значение $K = 0,8$;

Δ_2 – допустимая доверительная граница нормативного значения для данной конструкции при освидетельствовании, по рекомендациям [2] и исходя из допускаемой погрешности ультразвукового толщиномера [3] может быть принято равным 0,15 мм;

$\theta(P)$ – доверительная граница неисключенной систематической погрешности, в данном случае равна погрешности прибора θ ;

k_5, ξ_1 – коэффициенты, зависящие от доверительной вероятности (при обычно используемой в технике доверительной вероятности $P = 0,95$ имеем $k_5 = 1,96$ и $\xi_1 = 1,55$).

При производстве расчетов по (1) приходится иметь дело с комплексными числами. Для такого расчета удобно использовать программу MathCAD.

В статье [4] получены следующие выражения соответственно для минимального запаса толщин и максимальной скорости изнашивания связей

$$\Delta t = k_6 + k_7 \frac{\left(\frac{t - k_8}{k_9}\right)^4}{1 + \left(\frac{t - k_8}{k_9}\right)^4}; \quad (8)$$

$$C = k_{10} \left[1 - \exp\left(-\frac{t - k_{11}}{2}\right) \right]. \quad (9)$$

Значения коэффициентов $k_6 \dots k_{11}$ сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов $k_6 \dots k_{11}$ для классов Российского речного регистра (PPP)

Класс PPP	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}
«М-СП»	1,5	3,5	4,5	5,0	0,180	3,5
«М»	1,0	3,5	6,0	3,0	0,125	3,0
«О»	1,0	3,5	5,0	3,0	0,125	2,0
«Р»	0,5	4,0	4,0	3,0	0,125	1,2

Результаты расчёта по выражениям (1)-(9) приведены для полных скоростей износа связей на рисунках 1а-1г (левый график) и для половинных скоростей износа на рисунках 1а-1г (правый график) при рекомендуемом PPP значении $\nu = 0,4$. Уменьшение скоростей износа связей возможно по ряду причин, в частности из-за сокращения срока навигации и пребывания в солёной воде до шести месяцев в году у судов с классом «М-СП», для судов внутреннего плавания, предназначенных для эксплуатации в бассейнах северных и восточных рек

также могут быть сокращены вдвое [5].

По методике проведения промеров остаточных толщин связей [3] предполагается производство 10 измерений на участке связи. По проекту новых Правил РРР предполагается производить измерения в трёх точках связи (трёх участках связи), при невыполнении ряда комбинаций заложенного разбега значений остаточных толщин и значений минимально допустимых толщин производится вокруг отдельной или каждой точки ещё по четыре измерения. Варианты кроме дополнительных измерений в каждой точке и положения по совершенствованию методики Проекта Правил РРР изложены автором в [6].

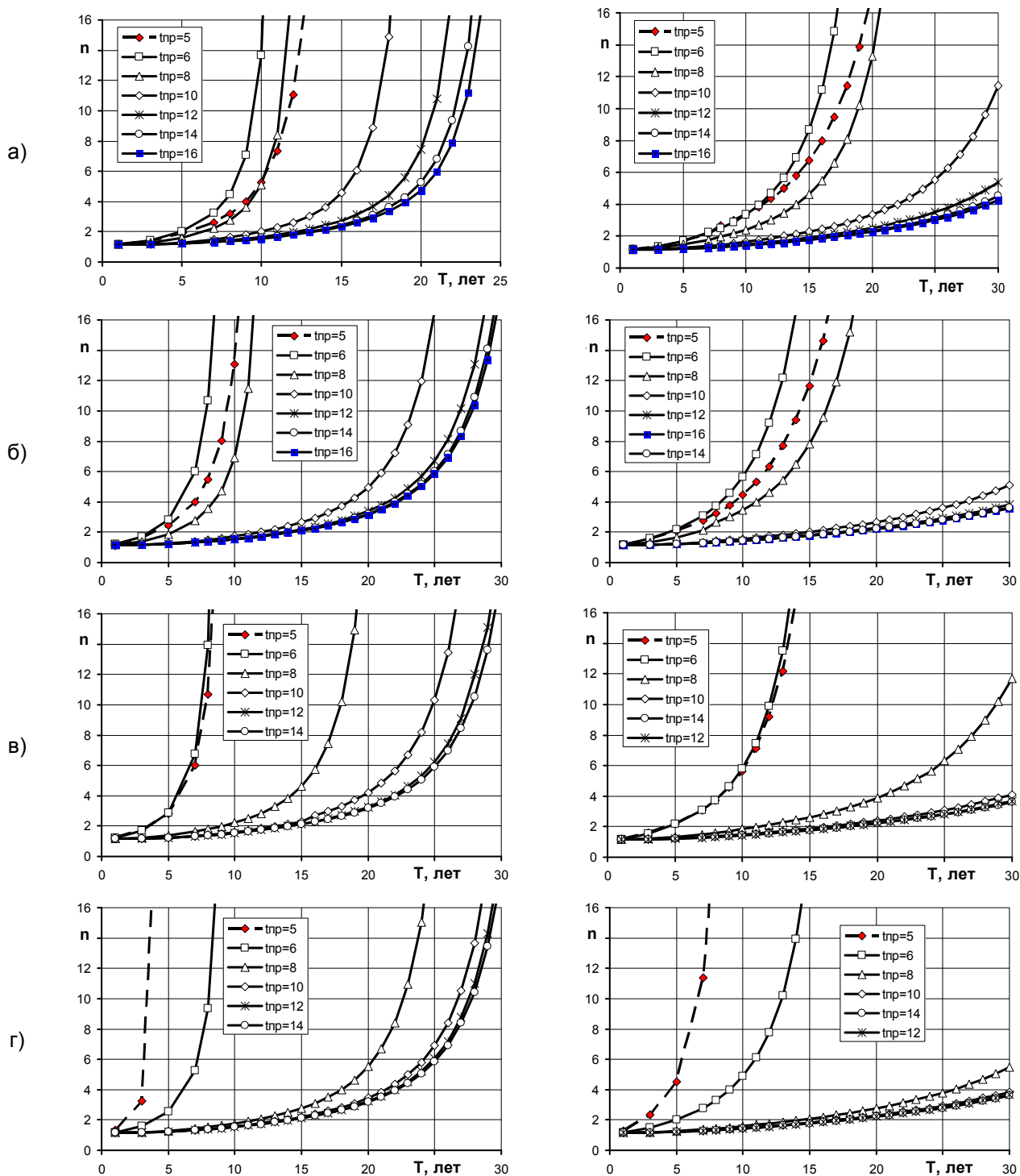


Рисунок 1 – Зависимость числа измерений остаточных толщин от срока эксплуатации судна для полной скорости износа (слева) и для половинной скорости износа (справа) с классом «М-СП»(а), «М»(б), «О»(в), «Р»(г)

Примем, с ошибкой в безопасную сторону, у второй методики, что значения измерений в

разных точках связи (участках) принадлежат одному участку и по графикам рисунка 1 определим периоды эксплуатации судна, для которых может быть обоснованно применена каждая из указанных методик (соответственно 10 измерений на участке элемента у первой методики и условно 3 и 15 измерений у второй).

Использование зависимостей рисунка 1 для случая $N = 15$ измерений несколько некорректно, так как в действительности нужно оценивать результат по трём группам ($L = 3$) из пяти измерений ($n = 5$). При этом число степеней свободы для определения коэффициента Стьюдента должно браться величиной $f_2 = N - L$, а не $f_1 = N - 1$. Соответственно у $f_2 = 12$, а $f_1 = 14$, при этом для случая доверительной вероятности $P = 0,95$ значения коэффициентов Стьюдента будут отличаться не более чем на 1,3%, что позволяет вести оценку при 15 измерениях по указанным зависимостям.

Результаты оценки сведём в таблицы 2-4. Из них видим, что сроки применимости методики при принятых из нормативов РРР скоростях изнашивания и стандартных отклонениях соизмеримые с половиной срока эксплуатации судов (связей) и более обеспечиваются при толщинах связей 8 мм и более. Для толщин менее 8 мм уже в первой половине срока службы судов прогнозируется применение более полного варианта у второй методики. У реальных судов, в особенности эксплуатируемых в бассейнах северных и восточных рек скорости износа, как правило, существенно ниже рассмотренных и применение второй (упрощённой методики) вероятней всего более целесообразно.

Таблица 2 – Период измерений толщин по методике [3]

Класс РРР	$t = 5$ мм		$t = 6$ мм		$t = 8$ мм		$t = 10$ мм		$t = 12$ мм		$t = 14$ мм		$t = 16$ мм	
	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2
«М-СП»	12	17	9	16	12	19	17	29	21	>30	22	>30	23	>30
«М»	9	13	8	12	11	16	23	>30	27	>30	28	>30	28	>30
«О»	8	12	7	12	18	29	25	>30	27	>30	29	>30	–	–
«Р»	4	7	8	13	23	>30	27	>30	28	>30	28	>30	–	–

Таблица 3 – Период измерений толщин по второй методике при $n = 3$

Класс РРР	$t = 5$ мм		$t = 6$ мм		$t = 8$ мм		$t = 10$ мм		$t = 12$ мм		$t = 14$ мм		$t = 16$ мм	
	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2
«М-СП»	8	9	7	9	8	12	13	19	16	23	17	24	17	25
«М»	6	7	5	7	7	9	16	22	19	25	20	27	20	27
«О»	5	7	5	7	13	17	17	24	19	26	20	26	–	–
«Р»	3	4	6	8	16	22	19	26	19	27	19	27	–	–

Таблица 4 – Период измерений толщин по второй методике при $n = 15$

Класс РРР	$t = 5$ мм		$t = 6$ мм		$t = 8$ мм		$t = 10$ мм		$t = 12$ мм		$t = 14$ мм		$t = 16$ мм	
	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2	с	C/2
«М-СП»	13	19	10	20	12	21	18	>30	22	>30	23	>30	24	>30
«М»	10	16	8	14	12	18	25	>30	28	>30	29	>30	29	>30
«О»	8	14	8	13	19	>30	26	>30	29	>30	29	>30	–	–
«Р»	4	7	9	14	24	>30	28	>30	29	>30	30	>30	–	–

Отметим, что выражение (1) построено из условия подтверждения возможности дальнейшей эксплуатации связи корпуса судна, и даёт реальные значения числа измерений до момента достижения связью нормативно минимального значения. В случае износа связи выше допустимого значения, увеличение числа измерений становится не актуальным. Можно заключить о сопоставимости использования методик по времени при возможном сокращении трудоёмкости второй методики при малых износах связей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 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.
- 2 Чистов, В.Б. Научные основы технологии ремонта корпусов судов речного флота: автореф. дис. ... д-ра техн. наук.- Санкт-Петербург: СПбГУВК, 1994. -40 с.
- 3 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.1. -Москва: Тип. Новости, 2009. -272 с.
- 4 Бимбереков, П.А. Построение оценочных аппроксимационных зависимостей для запаса толщин и рекомендуемых скоростей изнашивания по нормативным данным Российского Речного Регистра (РРР) / П.А. Бимбереков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2014. -№3. -С.127-131.

5 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.2. -Москва: Тип. Новости, 2009. -406 с.

6 Бимбереков, П.А. Корректировка методики определения остаточных толщин обшивки и настилов согласно проекту Правил Российского Речного Регистра / П.А. Бимбереков // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Мор. техника и технология. - 2015. -№1. -С.7-13.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *потребное число измерений остаточных толщин, износ толщин, скорость изнашивания, срок эксплуатации*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЙ ОСТАТОЧНЫХ ТОЛЩИН И МЕСТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

П.А. Бимбереков

ESTIMATION OF PARAMETERS OF MEASUREMENTS OF RESIDUAL THICKNESSES AND LOCAL RESIDUAL DEFORMATIONS DURING INSPECTION

Siberian state university of water transport

P.A. Bimberekov

It was suggested scheme for determination of metrological characteristics during inspection residual thicknesses and deformations taking into account alteration of measurable values and it is standardization. It was developed suggestions for improvement of methods for control of residual thicknesses as scheme implementation following Draft of Russian River Register Regulations, and also variants of residual thicknesses values control were considered along flexible line of ship hull together with values of local residual deformations.

Keywords: control, residual thicknesses, local residual deformations

Предложена схема для определения метрологических характеристик при освидетельствовании остаточных толщин и деформаций с учетом миграции измеряемых величин и их нормирования. В качестве её реализации разработаны предложения по совершенствованию методики контроля остаточных толщин Проекта Правил РРР, а также рассмотрены варианты контроля значений остаточных толщин по гибкой линии корпуса судна и значений местных остаточных деформаций.

Процедура дефектации при освидетельствовании судов, в частности, судовых корпусных конструкций достаточно трудоёмка. Поэтому её минимизация без значимой потери достоверности получаемого результата – актуальная задача. Для освидетельствования конструкций корпуса судов, деталей судового машиностроения и т.д. требуется знать необходимое количество измерений и потребную точность средств измерений. Обычно, для определения этих характеристик используют только значения погрешности средств измерений и средних квадратических отклонений отдельного измерения. Влияние допускаемых отклонений значений контрольных параметров при этом не учитывают, что ужесточает требования к процедуре освидетельствования конструкций, сохраняя их на протяжении практически всего срока его эксплуатации. Ниже рассмотрим подходы для сокращения объёмов и точности измерений при освидетельствовании с учетом допускаемой величины отклонения параметров конструкций.

На рисунке 1 представлена схема для определения метрологических характеристик при освидетельствовании остаточных толщин и деформаций с учетом миграции измеряемых величин и их нормирования.

Как видно из рисунка 1 для выбора характеристик измерений величин при освидетельствовании весьма важно ориентироваться в положении текущего значения оцениваемого параметра, что при достаточном запасе его на изменение до нормативного значения позволит предъявлять менее жёсткие требования к процедуре измерений без потери достоверности в заключении о допущении объекта к дальнейшей эксплуатации.

Принципиальные положения по процедуре дефектации остаточных толщин изложены автором в [1-3], в частности в [3] дана формула: «Способ планирования и корректировки процедуры обмера остаточных толщин, включающий процесс измерений, отличающийся тем, что предварительно производится анализ, преимущественно последовательно, требуемого количества обмеряемых элементов, определения числа участков на них и числа измерений на участках, возможно допускаемая погрешность средств измерения, включая и технологическую погрешность процедуры измерения, производятся замеры по плану на основе предварительного анализа, последующее, в частности, и в ходе измерений уточнение

их объемов, возможно и качества, измерений до удовлетворения предъявляемых к ним требованиям».

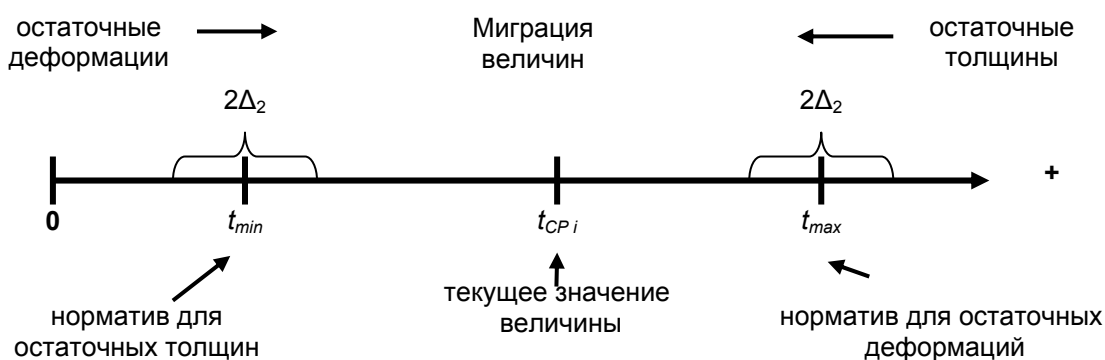


Рисунок 1 – Графическая интерпретация базовых условий задачи определения метрологических характеристик измерений при освидетельствовании с учетом миграции измеряемых величин и их нормирования (Δ_2 – допускаемая величина доверительной границы нормативного значения для данной конструкции при освидетельствовании)

Эта формула достаточно общая, и в целом отражает тенденции в формировании методологии получения данных по остаточным толщинам в Проекте Правил Российского Речного Регистра (РРР), которая получила развитие по сравнению с [4], посредством учёта истории существования объекта: результатов предыдущих дефектаций, возраста судна, условий эксплуатации, установленных видов износа и ранее выполненных ремонтных работ. В частности, в указанном Проекте предусмотрена следующая процедура: принято определение расчётных участков корпуса судна по длине, в зависимости от срока эксплуатации судна, в пределах указанных участков выбираются сечения, определяющие прочность корпуса (большие вырезы, минимальные площади конструктивных элементов, повышенный их износ), что в нашей формуле есть потребное количество обмеряемых элементов; производят пробные единичные измерения каждой трети листа (число участков на элементе предполагается постоянным) и на основе полученных результатов корректируют число измерений каждой трети листа (то есть выбирают предварительно единичное измерение на участке элемента и при необходимости корректируют его до пяти).

Оценки [5-7] показывают, что указанная выше процедура измерений и определения остаточных толщин вполне удовлетворительно позволяет сделать заключение об их значении, однако возможно совершенствование процедуры [6], могущее сократить при определённых условиях трудоёмкость процесса измерений. Совершенствование процедуры возможно за счёт не использованного в Проекте Правил выборе числа участков на листе и учёта запаса текущих значений толщин над нормативными. Для этого может быть предложена следующая корректирующая процедура. Первоначально планируется по одному единичному измерению на одном из участков у нескольких листов и если разница в износе составляет не более определённого значения, например, нормируемой Проектом Правил разницы для меньшей из толщин обмеряемых листов, то принимается значение износа в виде среднего арифметического, а остаточная толщина листа определяется как разница между построечной толщиной (или значением толщины от которого отсчитывается износ, например, при предыдущей дефектации) и значением износа. Таким образом, в ряде случаев, можно снизить трудозатраты до одной трети от предполагаемой Проектом Правил.

Приведём на рисунке 2 графики работы [1] по оценке потребного числа измерений на листе. Исходя из графика (рисунок 1а), можно заключить, что трёх измерений будет достаточно, если запас Δt превышает 0,6 мм, если $\Delta t > 0,35$ мм, то достаточно пяти измерений, а если $\Delta t > 0,25$ мм, то достаточно семи измерений. Данные результаты получены при условии погрешности толщиномера $\theta = 0,15$ мм и стандартного отклонения $\sigma = 0,5$ мм. Точность используемых в настоящее время ультразвуковых толщиномеров составляет $\theta = 0,10$ мм, то есть график имеет ошибку в безопасную сторону. Разница результатов при нормальном распределении и $\sigma = 0,5$ мм составляет около 6σ , то есть 3 мм, что было бы вполне приемлемым. Однако, исходя из таблицы 1, где приведены ограничительные характеристики измерений Проекта Правил РРР и оценки стандартных отклонений при трёх измерениях, за-

ключаем, что полученные с графика (рисунок 1а) оценки достоверны только до толщин в 12 мм. Для получения достоверных результатов при любых значениях обмеряемых толщин воспользуемся графиками (рисунок 1б). Из него видно, что допустимый запас толщин в зависимости от разницы в результатах измерений имеет зависимости:

– при трёх измерениях

$$\Delta t \approx l_x; \quad (1)$$

– при семи измерениях

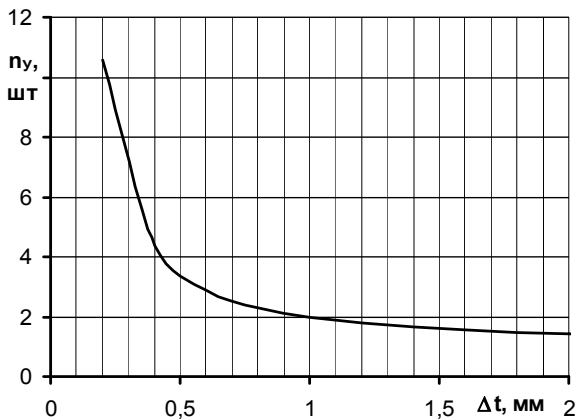
$$\Delta t \approx l_x / 3,5 = 0,286 l_x \approx 0,3 l_x. \quad (2)$$

Для случая пяти измерений не проводя анализа аналогично [1] дадим промежуточное значение

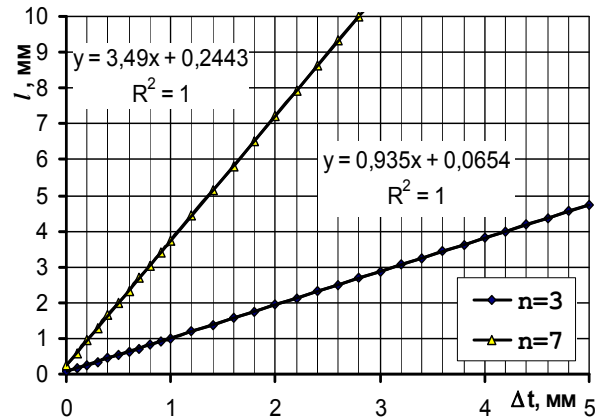
$$\Delta t \approx l_x / 2 = 0,5 l_x. \quad (3)$$

Для прогноза числа измерений (что вероятней всего наиболее интересно собственнику судна при планировании вывода его из эксплуатации для освидетельствования) также возможно воспользоваться зависимостями, представленными на рисунке 1б.

Определение ведётся по графику вида $l_x = f(\Delta t = t_{CP} - [t_{OCT}]; n_{\theta})$ (рисунок 1), в зависимости от рассчитанного по (1) значения t_{CP} , значения норм средних остаточных толщин $[t_{OCT}]$ и значения прогнозируемой разницы между отдельными измерениями на элементе связи корпуса l_m .



а)



б)

Рисунок 2 – Метрологические характеристики измерений при освидетельствовании остаточных толщин в зависимости от превышения действительного значения над минимальным $\Delta t = t_{CP} - t_{min}$ при доверительной вероятности $P = 0,95$: а)-необходимое число измерений на участке листа при $t_{min} = [t_{min}^{OCT}]$, $\theta = 0,15$ мм и $\sigma = 0,5$ мм; б)-значение допустимой разницы между измерениями на листе при $\theta = 0,10$ мм

Прогнозируемую разницу между отдельными измерениями на элементе связи корпуса, l_m , предлагаем определять по выражениям

$$l_m = 4\sigma; \sigma = \bar{CT}/3. \quad (4)$$

Прогнозируемое число участков измерения на элементе определять по графикам (рисунок 1б). Если точка в пересечении значений l_m и Δt будет лежать ниже прямой $n_{\theta} = 3$, то планировать обмеры трех участков на элементе (для листа обшивки замеры №1, 2, 3 [6]), если выше прямой $n_{\theta} = 3$, но ниже прямой $n_{\theta} = 7$ – то на одном из участков планировать четыре дополнительных измерения, если выше прямой $n_{\theta} = 7$ – то на каждом из трёх участков планировать четыре дополнительных измерения.

В итоге может быть предложена следующая процедура обмера остаточных толщин.

Первоначально производятся единичные измерения отдельных листов у родственных конструкций, например, листов разных поясов борта, днища и т.д. не зависимо от их толщины и в случаях:

– если разность между наибольшим и наименьшим значениями износов рассматривае-

мых связей l_x не превышает значений для наименее тонкой из связей согласно таблице 1, а сами измеренные значения не менее нормативных, то остаточная толщина листа t_{CPI} определяется по среднему износу для этих связей по выражению

$$t_{CPI} = t_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_{иi}, \quad (5)$$

где t_i – толщина i -ой связи, от которой отсчитывается износ;

n – количество точек измерения;

$\delta_{иi}$ – износ i -ой связи;

– если разность между наибольшим и наименьшим значениями износов рассматриваемых связей l_x не превышает значений для наименее тонкой из связей согласно таблицы 1 [6], а измеренная остаточная толщина какой-либо связи меньше нормативного значения, то проводятся дополнительные измерения этой связи в соответствии с ниже изложенным пунктом 2 (пункт 4.2.2 методики Проекта Правил), а значение прочих связей определяется из учёта среднего арифметического износа всех контролируемых родственных связей.

Таблица 1 – Ограничительные характеристики измерений

Строительная толщина листа, мм	менее 8	от 8 до 12	от 12 до 16	более 16
Допустимая разница в результатах измерений в пределах листа $[l_x]$, мм	0,5	1,0	2,0	3,0
Стандартное отклонение σ , мм	0,27	0,54	1,08	1,62
Модуль разности минимального и среднего арифметического значения	0,315	0,63	1,26	1,89

При отклонении от условий предложенных выше пунктов следует руководствоваться следующими пунктами Проекта Правил Российского речного регистра, то есть выполняются три измерения согласно рисунку 1. При обработке результатов измерений учитываются следующие моменты:

1 если разность между наибольшим и наименьшим значениями измеренных толщин не превышает указанной в таблице 1, а измеренные значения остаточных толщин больше или равны нормативным значениям, то толщина листа определяется как среднее арифметическое по этим трём точкам;

2 если разность между наибольшим и наименьшим значениями измеренных толщин не превышает указанной в таблице 1, а измеренная остаточная толщина в какой-либо точке меньше нормативного значения, то проводятся дополнительные четыре измерения в окрестности данной точки на площади примерно 1/3 листа в окрестности данной точки, значение в данной точке определяется как среднее арифметическое по результатам измерений на этой площади;

3 если разность между наибольшим и наименьшим значениями измеренных толщин l_x превышает указанную в таблице 1, но запас остаточных толщин над нормативными больше или равен l_x , то сохраняются три измерения;

– если разность между наибольшим и наименьшим значениями измеренных толщин превышает указанную в таблице 1, запас остаточных толщин более или равен $0,5l_x$, в окрестностях точки с меньшим значением на площади примерно 1/3 листа производится четыре дополнительных измерения, при этом если запас остаточных толщин в итоге окажется более $0,286l_x$, то на этом останавливаются и результат получают как среднее арифметическое по семи точкам;

– если разность между наибольшим и наименьшим значениями измеренных толщин превышает указанную в таблице 1, запас остаточных толщин менее $0,5l_x$, то в окрестностях каждой из трёх точек на площади примерно 1/3 листа производится четыре дополнительных измерения, а результат получают как среднее арифметическое по средним арифметическим результатам с каждой трети листа.

В том случае, если предварительная оценка покажет достаточный запас у толщин связей, то может быть целесообразной экспериментально-расчётная оценка, которую возможно произвести и в ходе эксплуатации судна, посредством реализации процедура согласно формулы [8]: «Способ приближенного определения остаточных толщин, преимущественно

настилов палубы и/или днища корпусов судов, заключающийся в том, что определяют деформации элементов корпуса судна, например палубы и днища, с помощью обмера прогибомерами или посредством определения разницы между общими деформациями, а именно: между гибкими линиями корпуса судна при разных нагрузках, например в полном грузу и порожнем, для чего определяют в этих условиях осадки носом, кормой и на миделе, находят положение нейтральной линии эквивалентного бруса с помощью измерений тензодатчиками в крайних связях корпуса, определяют коэффициенты долевого влияния площадей поперечного сечения всех связей корпуса, кроме перекрытий палубы и днища, в долях от момента инерции всего эквивалентного бруса корпуса при его общих деформациях, в частности прогибе и перегибе, а после этого определяют приведенные площади сечений перекрытий палубы и/или днища и по ним находят остаточные толщины». При этом способе целесообразно определять коэффициенты долевого влияния набора приведенной площади перекрытий палубы и днища по элементам этих перекрытий с учетом потери в результате образования вмятин. Изобретение позволяет упростить определение остаточных толщин, уменьшая до минимума простои судов при освидетельствовании их корпусов по остаточным толщинам связей.

Измерение местных остаточных деформаций корпуса судна также трудоёмкая задача, точность их измерения оговорена в Правилах РРР. Вместе с тем, также как и при измерении остаточных толщин в данном случае, пользуясь подходом, представленным на рисунке 1, можно найти решение для обоснованной минимизации процедуры. Проект Правил РРР имеет пункт 3.5 Приложение №2 к ПОСЭ, который предполагает предварительный визуальный контроль всех конструкций корпуса и разработку плана проведения измерений остаточных толщин и деформаций. Нами в отношении оценки величин местных остаточных деформаций предложен более конкретный подход, разделяющий всю процедуру на визуальную и инструментальную составляющие, согласно формулы [9]: «Способ ведения измерений в ходе контроля местных остаточных деформаций корпуса судна осуществляют с использованием инструментов, шаблонов и макетов, отличающийся тем, что предварительно оценивают величины остаточных деформаций, анализируют их погрешности для данного вида дефекта по значительному объёму статистического материала, принимая во внимание предельную погрешность определения вышеуказанной статистической оценки погрешности в отношении стрелки прогиба гофрировки, бухтин, равную 6 мм, а в отношении стрелки прогиба вмятин, равную 20 мм, при этом для уточнения величины оценивания и ее погрешности используют шаблоны и макеты, а инструментальные обмеры поврежденных конструкций выполняют при значениях, которые с учетом погрешностей приближаются к допускаемым значениям или превышают их». Изобретение позволяет упростить процесс ведения измерений в ходе контроля местных остаточных деформаций корпуса эксплуатируемого судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 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.
- 2 Бимбереков, П.А. Ускоренная дефектация и ремонт корпусов судов в эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / П.А. Бимбереков. -Санкт-Петербург: СПбГУВК, 2009.-18 с.
- 3 Пат. 2323409 Российская Федерация. Способ планирования и корректировки процедуры обмеров остаточных толщин / Бимбереков П.А. -Опубл. 2008, Бюл. № 12.
- 4 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т.1. -Москва: Тип. Новости, 2009. -272 с.
- 5 Бимбереков, П.А. Построение оценочных аппроксимационных зависимостей для запаса толщин и рекомендуемых скоростей изнашивания по нормативным данным Российского Речного Регистра (РРР) / П.А. Бимбереков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2014. -№ 3. -С. 127-131.
- 6 Бимбереков, П.А. Корректировка методики определения остаточных толщин обшивки и настилов согласно проекту Правил Российского Речного Регистра / П.А. Бимбереков // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Мор. техника и технология. -2015. -№ 1. -С. 7-13.
- 7 Бимбереков, П.А. Определение потребного числа измерений остаточных толщин на участке элемента связи корпуса судна на основе оценочных зависимостей для запаса толщин и рекомендуемых скоростей изнашивания / П.А. Бимбереков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2015. -№1. -С.
- 8 Пат. 2378272 Российская Федерация. Способ приближенного определения остаточных толщин / Бимбереков П.А. -Опубл. 2010, Бюл.№ 2.
- 9 Пат. 2378273 Российская Федерация. Способ ведения измерений в ходе контроля местных остаточных деформаций корпуса судна / Бимбереков, П.А. -Опубл. 2010, Бюл. № 2.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *контроль, остаточные толщины, местные остаточные деформации*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОТОРНОГО МАСЛА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.И. Кочергин, А.О. Куприянов

TO QUESTION OF ASSESSMENT OF EFFICIENCY MOTOR OIL IN THE CONDITIONS OF EXPLOITATION

Siberian state transport university

V.I. Kochergin, A.O. Kupriyanov

The problems of estimation of periodicity of replacement of motor oil mark in the conditions of exploitation. The results of comparative analysis of influence of external environments are described on intensity of change of parameters of capacity of motor oils.

Keywords: motor oil, periodicity of replacement, viscosity of oil

Обозначены проблемы оценки периодичности замены моторного масла в условиях эксплуатации. Описаны результаты сравнительного анализа влияния условий эксплуатации на интенсивность изменения параметров работоспособности моторных масел.

Моторное масло является одним из основных функциональных элементов двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Помимо того, что масло выполняет свою основную задачу – обеспечение работоспособности и долговечности ответственных узлов трения и двигателя в целом, смена моторного масла выступает в качестве стержневой операции при определении периодичности технического обслуживания (ТО) и формировании системы ТО и ремонта.

При оценке оптимального срока службы моторного масла имеет место некоторый конфликт интересов производителей масла, производителей двигателей и юридических и физических лиц, непосредственно занятых эксплуатацией различных транспортно-технологических машин с двигателями внутреннего сгорания. Производители масла нередко указывают гарантированные сроки службы своей продукции, в значительной мере превышающие рекомендации производителей машин. Это является в некотором роде маркетинговым ходом с целью заявления о высоком качестве продукции, поскольку заявленные сроки, как правило, не соответствуют периодичностям технических обслуживаний, установленных сервисными службами производителей машин. Владельцы транспортных средств, естественно, заинтересованы в уменьшении эксплуатационных расходов путем увеличения интервала между очередными заменами масла, но либо вынуждены придерживаться рекомендаций, указанных в руководствах по технической эксплуатации, чтобы не утратить гарантийные обязательства дилера, либо не увеличивают указанный интервал из-за опасения преждевременного выхода ДВС из строя.

Некоторые производители автомобилей и других видов транспортных средств, заявляя оптимальную периодичность сервисного обслуживания, признают необходимость корректировки интервала замены масла в сторону уменьшения при эксплуатации машины в особых условиях. К особым условиям эксплуатации, например, относят работу не менее 50% времени на холостом ходу, движение преимущественно со средней скоростью ниже 30 км/ч, преимущественное движение легкового автомобиля с буксируемым прицепом, эксплуатация в запыленной атмосфере. Особыми условиями следует считать и эксплуатацию машин в условиях низких температур окружающего воздуха. Конкретных рекомендаций по порядку применения понятия «особые условия эксплуатации» заводы-производители, как правило, не приводят.

Большинство владельцев транспортных средств, имеющих определенный пробег с начала эксплуатации и не находящихся на сервисном обслуживании, не выполняют в полном объеме предписанные регламентные работы, что можно считать оправданным, исходя из экономических соображений. В этом случае важен вопрос возможности эксплуатации машин с измененным (не соответствующим регламенту) сроком службы моторного масла.

Условия эксплуатации машин по температурам окружающей среды, условиям хранения и режимам движения могут иметь весьма значительные отличия. Химический состав различных типов моторных масел также имеет свои особенности. Даже отдельные партии масел одного производителя могут иметь различия. Учитывая все перечисленные факторы, а так-

же отличия в техническом состоянии базовых деталей ДВС, можно представить сложность единого подхода к определению интервала смены моторного масла. Следовательно, необходимо решить проблему выбора оптимальных и достоверных показателей, характеризующих работоспособность моторного масла.

Возможность достоверной оценки предела работоспособности моторного масла в условиях эксплуатации предполагает значительный экономический эффект от внедрения в практику подобных методов, поскольку при преждевременной замене масла возникают значительные, если принимать во внимание весь срок службы машины, излишние затраты на его приобретение. В свою очередь, при превышении срока службы моторного масла могут возникнуть непредвиденные издержки на ремонт и восстановление деталей двигателя.

Современные смазочные материалы имеют различные технологии производства и содержат большое количество присадок различного назначения, что затрудняет выбор оптимального критерия оценки работоспособности моторного масла в условиях эксплуатации. Если ранее для моторных масел на минеральной основе было достаточно оценить на соответствие нормативным значениям вязкость, щелочное число и процентное содержание посторонних примесей, то для новых эксплуатационных материалов вследствие их сложного состава считается, что работоспособность следует дополнительно оценивать по степени сработанности различных присадок.

Перспективным и приоритетным направлением совершенствования методов оценки работоспособности моторного масла является определение количества и состава механических примесей, образующихся в нём в процессе эксплуатации, тем более что моторное масло служит ещё и уникальным носителем информации о техническом состоянии двигателя внутреннего сгорания. Диагностические прогнозы неисправностей ДВС, основанные на результатах спектрального анализа работавшего моторного масла, обладают высокой достоверностью. Но, к сожалению, это направление технической диагностики в нашей стране не получило и, по-видимому, не получит в ближайшее время широкого распространения из-за необходимости наличия дорогостоящего оборудования и ряда организационных причин. Поэтому наиболее конструктивным представляется оценка работоспособности моторного масла по величине и интенсивности изменения вязкости моторного масла. Вязкость как показатель, определяющий вязкостно-температурные свойства и подвижность масел при пониженных температурах, определяет антифрикционные свойства масел и, в конечном счете, долговечность двигателя.

Считается, что вязкость масел с увеличением наработки неизменно должна уменьшаться, но известны эксперименты, показывающие, что объемный перегрев масла, возникающий, например, при движении автотранспортного средства в «пробках», приводит к резкому увеличению вязкости [1]. Косвенно факт изменения антифрикционных свойств масел при их перегреве подтверждается и другими исследованиями [2].

Комплексные исследования качества моторного масла, основанные на определении содержания механических примесей методом спектрального анализа, кинематической вязкости и температуры вспышки, показали, что к концу общепринятой рекомендуемой наработки до очередной замены масла, а именно пробега 10000 км, основные параметры масел оставались в пределах допустимых. Исследования проводились на автомобилях Mitsubishi Pajero 4 и Lada 2111 путем забора проб работавшего масла через каждые 1000-2000 км пробега. Исследования были проведены в одинаковом календарном отрезке времени и при сопоставимой суммарной наработке автомобилей, выраженной в километрах пробега, за исследуемый период. Тем не менее, существуют различия в интенсивности изменения кинематической вязкости масел в ДВС исследуемых автомобилей (рисунки 1 и 2), определяемой в ходе эксперимента в соответствии с ГОСТ 33-2000 [3].

Кардинальными отличиями условий эксплуатации исследуемых в процессе эксперимента автомобилей можно считать различные условия хранения и тепловой подготовки в зимний период эксплуатации. Автомобиль Mitsubishi хранился преимущественно в закрытом помещении и имел автономный предпусковой подогреватель. Автомобиль Lada, в свою очередь, хранился на открытом воздухе и не был оборудован средствами предпусковой тепловой подготовки и прогрева, то есть, постоянно подвергался режиму холодного пуска. Можно сделать вывод, что именно это явилось причиной интенсивного изменения вязкости в начальный период начала эксплуатации автомобиля Lada, совпадающим по времени с наиболее холодным периодом года. Несмотря на то, в целом вязкость моторного масла осталась при пробеге автомобиля 10000 км в пределах нормы, учитывая, что рекомендуемый заво-

дом-изготовителем интервал смены масла составляет 15000 км, можно сделать вывод о том, что вязкость моторного масла требует регулярного контроля в эксплуатационных условиях.

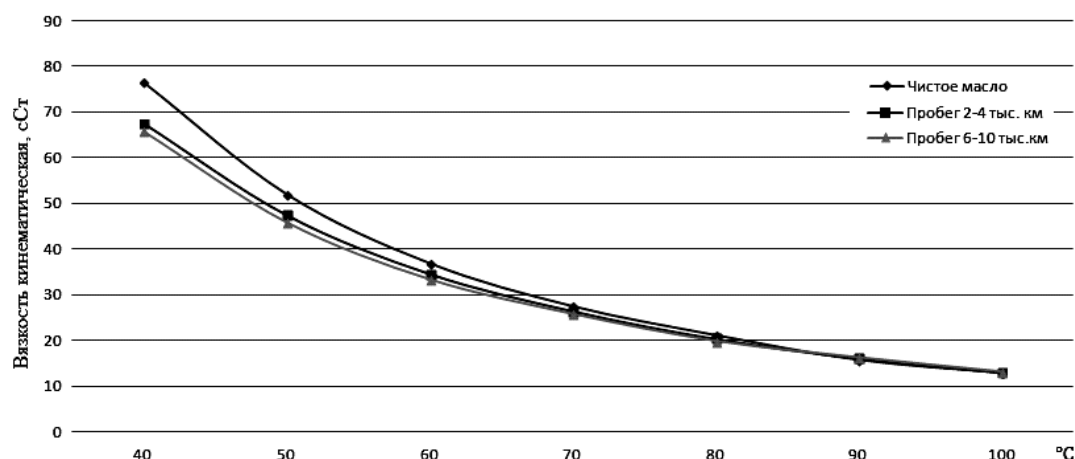


Рисунок 1 – Вязкостно-температурные характеристики моторного масла «Mobil Super» SAE 0W40 автомобиля «Mitsubishi Pajero 4» в зависимости от пробега

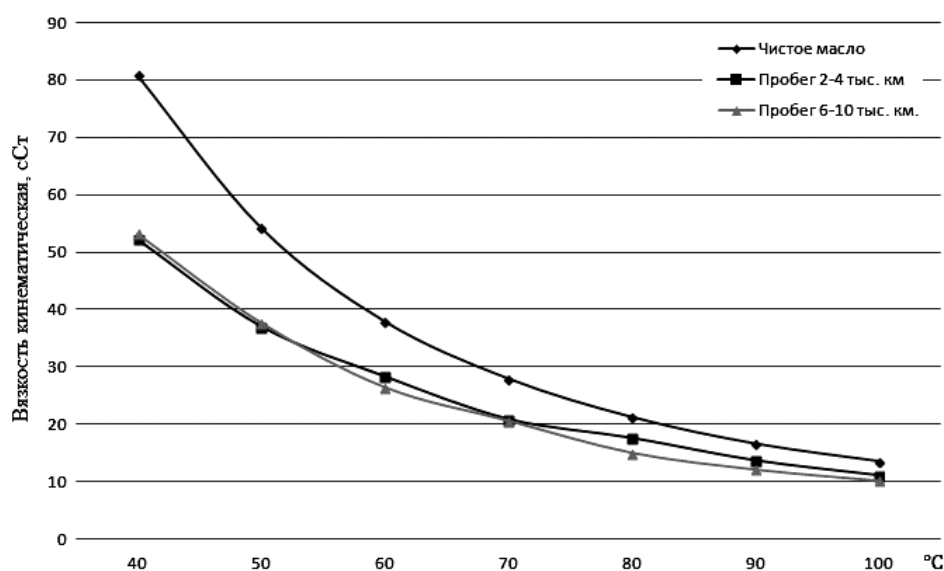


Рисунок 2 – Вязкостно-температурные характеристики моторного масла «BP Visco 5000» SAE 5W40 автомобиля LADA 2111 в зависимости от пробега

Следовательно, есть все основания полагать, что и для современных типов моторных масел набор контролируемых параметров может быть минимизирован для разработки технологий экспресс - оценки работоспособности моторного масла в эксплуатационных условиях. При наличии достоверных методов контроля технического состояния масла межсервисные интервалы его замены могут быть скорректированы. Из всех известных показателей качества масла следует обратить внимание на наиболее доступные в эксплуатационных условиях параметры оценки состояния смазочных материалов и, в первую очередь, при эксплуатации машин необходимо обеспечение проведения регулярного контроля вязкости моторного масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Колодочкин, М. Губительный застой / М. Колодочкин, А. Шабанов // За рулем. -2013. -№ 11. -С. 158-162.
- 2 Технология увеличения ресурса смазочных материалов / Б.И. Ковальский, Е.Г. Кравцова, И.А. Шумовский, Н.Н. Малышева, В.Г. Шрам // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№ 1. -С. 187-190
- 3 ГОСТ 33-2000. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моторное масло, периодичность замены, вязкость масла
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кочергин Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
 Куприянов Алексей Олегович, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

ВЫРЕЗКА ОТВЕРСТИЙ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ И МНОГОСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЯХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Т.К. Тюнюкова

CUTTING OF OPENINGS IN THIN-SHEET ELEMENTS AND MULTILAYERED PANELS OF TRANSPORT, TECHNOLOGICAL MACHINES AND EQUIPMENT IN OPERATIONAL CONDITIONS

Siberian state transport university

T.K. Tyunyukova

The considered technology belongs to the sphere of operation of transport technological machines and the equipment. It is intended for processing of openings by cutting with a special cutting tool in the thin-sheet and multilayered constructive elements consisting of diverse materials including in panels and covers with the closed contours.

Keywords: technical operation, cutting of openings, thin-sheet panels

Рассматриваемая технология относится к сфере эксплуатации транспортно-технологических машин и оборудования. Применяется для обработки отверстий резанием специальным инструментом в тонколистовых и многослойных конструктивных элементах, состоящих из разнородных материалов, в том числе в панелях и оболочках с замкнутыми контурами.

Практически во всех отраслях сферы материального производства, к которым, прежде всего, относятся машиностроение, металлообработка, промышленное, гражданское и транспортное строительство, широко используются тонколистовые материалы – сталь, алюминий, латунь и другие, в том числе неметаллические материалы с толщиной, не превышающей $\delta = 2$ мм. Наибольшее распространение получили тонколистовые металлы с толщиной листа $\delta = (0,2-1,2)$ мм. Это обстоятельство существенным образом влияет на технологический процесс обработки отверстий. При $\delta = (0,2-0,5)$ мм преимущественно выполняется пробивка отверстий, а при $\delta \geq 0,5$ мм – сверление.

Задача усложняется при обработке отверстий в многослойных сэндвич панелях, состоящих из материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами. Так, например, сверление отверстий в технологических панелях с утеплителем из минеральной ваты вообще невозможно из-за ее наматывания на сверло.

При пробивке отверстий процесс резания происходит при относительном перемещении пуансона и матрицы, а удаляемый материал выдавливается в ее отверстие. В заводских условиях вырезка отверстий производится методом холодной штамповки, при котором обеспечивается необходимая точность центровки матрицы и пуансона.

Для пробивки отверстий в уже изготовленных конструктивных элементах (кузовных, оконных, кровельных, вентиляционных и др.) используются ручные гидравлические, электрические или механические прессы. Технологический процесс обработки состоит из предварительной вырезки необходимого для установки натяжного винта отверстия, закрепленной на нем матрицы и ее перемещения относительно пуансона. Но этот способ неприменим для пробивки отверстий в объемных конструктивных элементах с замкнутыми контурами из-за невозможности установки матрицы или выполняющей ее роль резиновой подложки на внутренних поверхностях таких элементов.

Обработка отверстий сверлением, кроме случаев, когда их диаметр $D \gg \delta$, осуществляется конусными сверлами с использованием специальной смазки. Кроме ограничений, накладываемых минимально допустимой для сверления толщиной листового материала, невозможно сверление сложенных в пакеты листов из-за вспучивания попадающей между ними стружкой. Кроме того, при сверлении конусными сверлами пакетов или сэндвич-панелей, обладающих относительно большой толщиной, нельзя получить цилиндрическое отверстие.

Альтернативой рассматриваемым способам обработки отверстий в тонколистовых материалах, многослойных панелях и оболочках, в том числе состоящих из разнородных материалов, может служить технологический процесс, базирующийся на комбинированном способе механической обработки, сочетающий в себе операции пробивки и вырезки [1, 2].

Технологические особенности каждой из этих операций определяют конструктивные требования, которым должен отвечать режущий инструмент. К ним, прежде всего, относится

минимальная площадь поперечного сечения инструмента, обеспечивающая наименьшую деформацию материала при вырубке лидирующего отверстия. Кроме того, он должен иметь достаточно большой угол скоса боковых лезвий, что необходимо для снижения силы резания и эффективного удаления стружки из зоны резания.

Этим требованиям отвечает специальное винтовое (ленточное) сверло, схема работы которого приведена на рисунке 1.

Сверло имеет торцевое и два боковых лезвия. Торцевое лезвие предназначено для пробивки листового материала, а боковые – для его резания. Технологический процесс обработки отверстия можно представить в виде трех последовательно выполняемых операций I-III.

При выполнении первой операции (I) сверло совершает относительно небольшое поступательное перемещение, необходимое для пробивки лидирующего отверстия, форма которого показана на рисунке 1б. Затем, при поступательно-вращательном движении осуществляется ввертывание сверла в лидирующее отверстие (II). Третьей операцией является финишная обработка отверстия боковыми лезвиями (III). При этом сверло 1 перемещается относительно матрицы 2, совершая только возвратное движение.

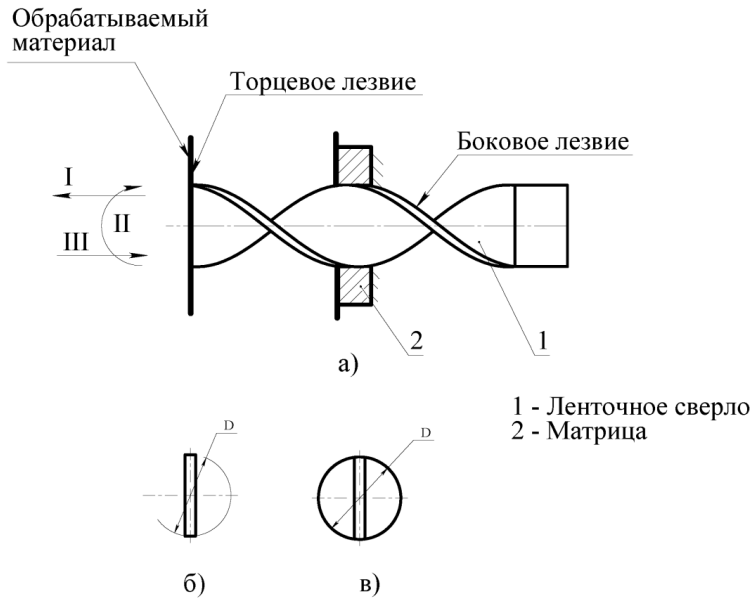


Рисунок 1 – Схема обработки отверстия: а)-рабочее положение сверла и матрицы; б) и в)-формы вырезаемых отверстий

Особенности рассматриваемого технологического процесса обусловлены двумя факторами: конструкцией торцевого лезвия и динамикой сверла. Пробивка лидирующего отверстия должна выполняться с минимально возможным деформированием периметра отверстия. В общем случае процесс резания при пробивке состоит из трех стадий. На стадии упругих деформаций происходит упругое сжатие и изгиб материала. Стадия пластических деформаций характеризуется вдавливанием торцевого лезвия в материал с сильным растяжением волокон. Напряжения вблизи режущих кромок достигают величины, соответствующей сопротивлению сдвига (среза). На стадии скалывания возникают макротрещины, вызывающие отделение вырезаемого материала.

Так как наибольшее сопротивление изгибу оказывают периферийные слои вырезаемого материала, то процесс резания при пробивке должен начинаться по периметру отверстия, что обеспечит минимальную пластическую деформацию материала.

Этому условию отвечают кромки торцевых лезвий, показанные на рисунке 2.

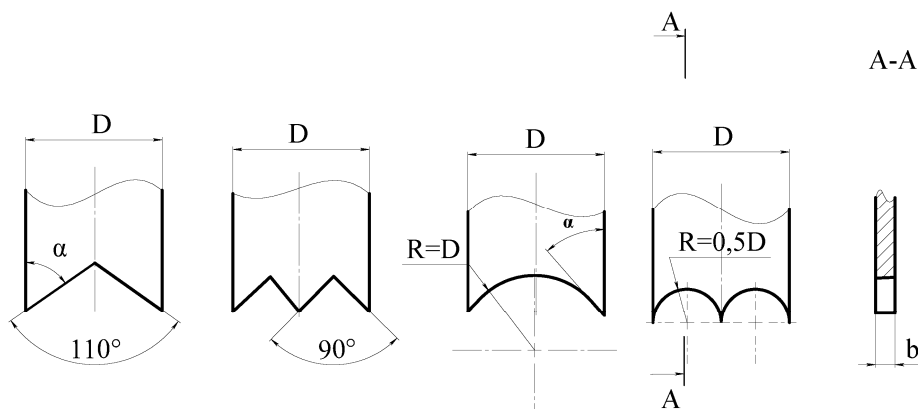


Рисунок 2 – Формы режущих кромок торцевых лезвий

Выбор формы режущих кромок определяется рядом факторов, к основным из которых относятся: толщина обрабатываемого материала; количество слоев и их физико-механические свойства; диаметр вырезаемых отверстий; скорость резания.

При толщине тонколистовых материалов $\delta \geq 0,5$ мм и $D/\delta < 20$ могут быть рекомендованы треугольные кромки, показанные на рисунке 2а. При увеличении диаметра обрабатываемого отверстия уменьшается сопротивление поперечному изгибу вырубленной части металла и максимальные деформации возникают в точках, наиболее удаленных от периметра окружности.

Для их снижения в центральной части торцевого лезвия формируется режущий клин, позволяющий сместить зону наибольшего поперечного изгиба к периферии круга. Такую форму (рисунок 2б) целесообразно применять при $D/\delta > 20$. Формы режущих кромок, приведенные на рисунке 2а и 2б, предназначены для обработки отверстий в металлах толщиной $\delta < 0,5$ мм, поскольку они имеют более заостренные кромки с углом резания $\alpha \rightarrow \min$.

Многофакторность рассматриваемой задачи приводит к неопределенности в ее решении, возрастающей при переходе от листовых материалов к оболочкам и панелям типа «сэндвич» с произвольным чередованием слоев металлических и неметаллических материалов различной толщины. Поэтому возникает необходимость в построении математической модели, позволяющей учесть наиболее существенные особенности обработки отверстий резанием.

Задачей моделирования является определение работы сил резания при возвратно-поступательном движении сверла, которое может выполняться под действием энергии удара за несколько циклов нагружения.

Наиболее полно отвечает поставленной задаче физическая модель упрочняющегося жесткопластического тела, показанная на рисунке 3а. На рисунке 3б, в представлены отображаемые моделью линеаризованные статические F - x диаграммы (сила-осадка), соответствующие операциям I-III [4].

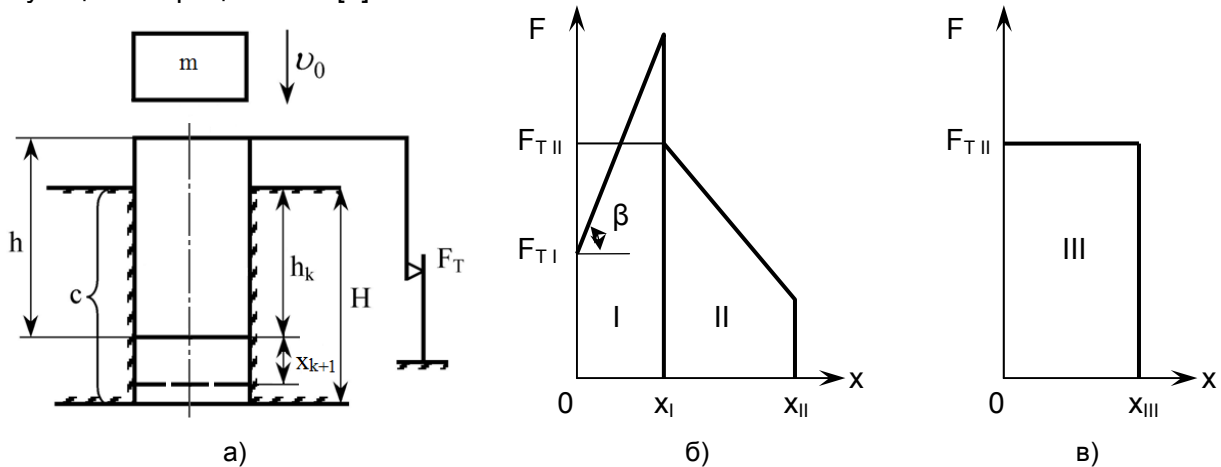


Рисунок 3 – Физическая модель (а) и статические нагрузочные F - x диаграммы (б, в) деформируемого твердого тела

Модель представляет собой цилиндр высотой h , погружаемый в упругий материал толщиной H , при ударе по нему бойка массой m , движущегося со скоростью v_0 . Сопротивление материала перемещению цилиндра определяется условной жесткостью $c = tg\beta$ и демпфером сухого трения с постоянной силой сопротивления F_T . Перемещение цилиндра h_k за k циклов динамического нагружения соответствует статической осадке сверла x .

Для каждой из операций в соответствии со статическими F - x диаграммами могут быть выбраны приведенные в таблице кинематические параметры начала и конца цикла нагружения и необходимые компоненты модели, количественные оценки которых находятся опытным путем.

Уравнение движения массы m совместно с цилиндром на произвольном $(k + 1)$ цикле

$$m\ddot{x} + c(h_k + x_{k+1}) + F_T = 0, \quad (1)$$

где x_{k+1} – текущее значение перемещения цилиндра.

Решение уравнения (1) позволяет перейти к уравнению в конечных разностях

$$\left(h_{k+1} + \frac{F_T}{c}\right)^2 = \frac{mv_0^2}{c} + \left(h_k + \frac{F_T}{c}\right)^2, \quad (2)$$

Уравнение (2) имеет решение, позволяющее найти величину перемещения сверла при ударе по нему бойка с энергией T [3]

$$h_k = \sqrt{\frac{F_T^2}{c^2} + \frac{2T_k}{c}} - \frac{F_T}{c}. \quad (3)$$

Таблица – Кинематические параметры начала и конца цикла нагружения

Операции	Компоненты	Параметры циклов	
		начало	конец
I	$F_T; c$	$h = H; h_k = 0$	$h_k = H$
II	$F_T; c$	$h = H; h_k = H$	$h_k = H + h$
III	$F_T; c$	$h = 0; h_k = 0$	$h_k \leq H$

В свою очередь, решения уравнения (3) относительно T или k дают возможность определить кинетическую энергию, необходимую для выполнения каждой из операций, или, при известной энергии, найти количество ударов, за которое может быть реализован процесс вырезки отверстия

$$T_I = \frac{h_k^2 c + 2h_k F_T}{2k}; k_I = \frac{h_k^2 c + 2h_k F_T}{2T}; \quad (4)$$

$$T_{II} = \frac{2h_k F_T - h_k^2 c}{2k}; k_{II} = \frac{2h_k F_T - h_k^2 c}{2T}; \quad (5)$$

$$T_{III} = \frac{h_k F_T}{k}; k_{III} = \frac{h_k F_T}{T}. \quad (6)$$

Рассмотренная модель позволяет рассчитать выходные параметры машины ударного действия, предназначенной для реализации технологии обработки отверстий, припасовкой решений (4)-(6), что является вполне достаточным для синтеза специализированного инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тюнюкова, Т.К. Совершенствование технологического процесса изготовления слоистых деталей комбинированными методами обработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08: 05.03.01 / Т.К. Тюнюкова. -Новосибирск: Сиб. гос. ун-т путей сообщения, 2006. -24 с.
- 2 Пат. 79484. Способ создания отверстий в тонколистовых металлах и пакетах собранных из тонколистовых материалов и устройство для его реализации / А.Д. Абрамов, В.А. Каргин, Т.К. Тюнюкова. -Опубл. 15.09.08, Бюл. № 27. -6 с.
- 3 Теория и практика комбинированных технологических процессов с управляемым пластическим деформированием / В.А. Каргин, А.Д. Абрамов, А.Г. Бондаренко, Т.К. Тюнюкова // Технология машиностроения. -2007. -№ 4. -С. 53.
- 4 Тюнюкова, Т.К. Моделирование технологических процессов обработки слоистых деталей / Т.К. Тюнюкова // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. -Кемерово, 2006. -Вып. 6. -С. 95-97.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эксплуатация машин, вырезка отверстий, тонколистовые панели
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Тюнюкова Татьяна Константиновна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

СТОХАСТИЧЕСКАЯ КАПИЛЛЯРНАЯ МОДЕЛЬ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ ФИЛЬТРОВАНИЕМ

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

Г.П. Кича, Н.Н. Таращан, А.В. Надежкин

STOCHASTIC CAPILLARY MODEL OF ENGINE OIL CLEANING IN MARINE DIESEL ENGINES BY MEANS OF FILTERING
 Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
 G.P. Kicha, N.N. Tarashcan, A.V. Nadezhkin

Stochastic capillary model of complex disperse systems, as applied to engine oil cleaning up in ICEs is presented in this article. The model is based on analytical description of finelydispersed phase of particles motion in the flow of suspension, passing through the capillary. Diffusive phenomena, causing the fluctuation of sedimentation velocity of nonsoluble products are taken into consideration by means of Kolmogorov-Fokker-Planck equation. The effects of hematological, adhesional, sedimentological screening groups on the process of filtering the impurities from oil are considered as well.

Keywords: filtering, oil cleaning up, capillary model, stochasticity separation

Приведена стохастическая капиллярная модель фильтрования сложных дисперсных систем применительно к очистке моторного масла в ДВС. Модель базируется на аналитическом описании перемещения частиц тонкодисперсной фазы в потоке суспензии, проходящей через капилляр. Диффузионные явления, вызывающие флуктуацию скорости осаждения нерастворимых продуктов, учтены с помощью уравнения Колмогорова-Фоккера-Планка. Рассмотрено влияние химмотологической, адгезионной и седиментационной групп отсева на отфильтровывание загрязнений из масла.

Особенность нерастворимых загрязнений моторного масла (ММ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является их мелкодисперсность и поверхностная активность в связи с адсорбцией на частицах в больших количествах моюще-диспергирующих и стабилизирующих присадок. Наличие «шубы» на частицах нерастворимых продуктов (НРП) из поверхностно активных веществ не позволяет им слипаться и образовывать сложные мицеллы и откладываться (осаждаться) на деталях цилиндра-поршневой группы ДВС, вызывая нагаро- и лакообразование.

В таких дисперсионных системах подвижность нерастворимых продуктов очень высока из-за развитых диффузионных процессов. Пренебречь этим явлением (броуновским движением частиц) при фильтровании такой сложной суспензии, как работающее в дизеле загрязненное НРП моторное масло нельзя [1]. Эти суспензии плохо поддаются очистке от частиц, опасных для дизеля в части интенсификации изнашивания деталей трения и старения ММ. Многие из них абразивны и являются катализаторами окисления масла.

Новый подход к стохастическому моделированию процесса очистки ММ в ДВС, основы которого заложены в работах [2-4], заключается в привлечении аппарата марковских процессов для возможности учета случайных взаимодействий НРП с фильтровальной перегородкой при отсеве дисперсной фазы (ДФ). Особенностью подхода является использование уравнений, описывающих стесненное движение частиц при прохождении суспензией фильтровального капилляра. Уравнение, описывающее детерминированное воздействие на ДФ, дополняется членом, учитывающим стохастичность процесса.

Случайная составляющая скорости движения частиц в капилляре может быть вызвана броуновским движением их, скученностью и стесненностью перемещения из-за ограниченности пространства, что вызывает флуктуацию скорости осаждения ДФ.

Механизм взаимодействия жидкости и частицы (рисунок 1) при движении через капилляр можно представить кинетическим уравнением

$$M_d \frac{d\vec{u}}{d\tau} = \vec{F}_{Ad} + \vec{F}_{DL} + \vec{F}_g + \vec{F}_A + \vec{F}_{grad,p} + \vec{F}_s + \vec{F}_c, \quad (1)$$

где M_d – масса частицы, кг;

\vec{u} – вектор скорости частицы, м/с;

\vec{F}_i, \vec{F}_c – векторы сил, действующих на частицу, Н;

τ – время процесса фильтрования, с.

При оценке сил, действующих на движущуюся в капилляре частицу, воспользуемся характеристикой \vec{F}_i в ячеистой модели [1, 2, 5, 6]. Адгезионный захват (отфильтровывание) частицы при движении суспензии в капилляре обусловлен главным образом \vec{F}_{Ad} , то есть силами молекулярного притяжения. Они действуют при касании ДФ поверхности капилляра или при сближении на достаточно близкое расстояние, соизмеримое с диаметром частицы. Силы Лондона-Ван-дер-Ваальса почти не воздействуют на поле течения за исключением области в непосредственной близости от стенки капилляра [7].

Вандерваальсова сила молекулярного притяжения между частицей ДФ и стенкой капилляра в радиальном направлении равна [1, 6]

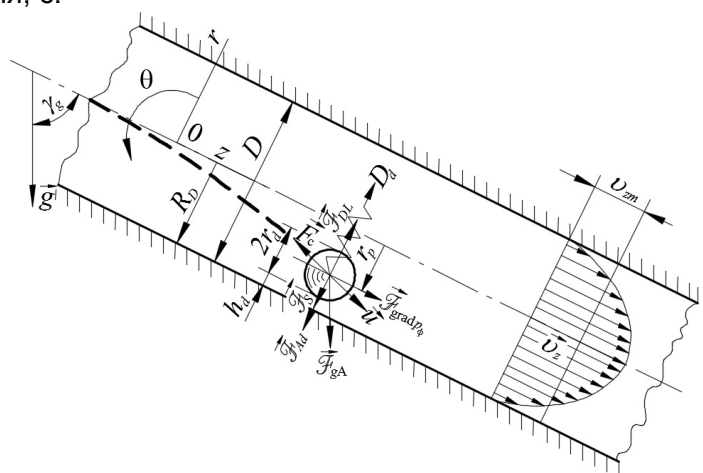


Рисунок 1 – Схема действия сил на отфильтровываемую частицу ДФ при движении суспензии в капилляре

$$\vec{F}_{Ad} = \frac{2Q_e r_d^2}{3h_d^2 (2r_d + h_d)} \vec{e}_r, \quad (2)$$

где Q_e – постоянная Гамаккера, $Q_e = 10-20$ Дж;
 r_d – радиус частицы, м;
 h_d – расстояние между частицей и стенкой коллектора, м;
 \vec{e}_r – единичный вектор в направлении r .

Так как в очищаемом масле содержатся моюще-диспергирующие и стабилизирующие присадки, а также продукты старения масла (смолы, асфальтены), имеющие полярную активность, то на поверхности отфильтровываемых частиц образуется сольватная оболочка с двойным поляризационным слоем. Поэтому при отсеивании частиц необходимо учитывать силы электрокинетического взаимодействия \vec{F}_{DL} [3, 4].

Силу взаимодействия двойного слоя частицы и стенки капилляра можно выразить через их поверхностные потенциалы ξ_d и ξ_D [1]. Дзета-потенциал частиц ДФ и поверхности капилляра обусловлены, как уже отмечалось, специальными присадками и продуктами старения ММ. Поэтому их взаимодействие следует считать химмотологическим, которое можно рассчитать по рекомендациям [1, 6]

$$\vec{F}_{DL} = \frac{\epsilon r_d k_D (\xi_d^2 + \xi_D^2)}{2} \left[\frac{2\xi_D}{\xi_d^2 + \xi_D^2} - \exp(-k_D h_d) \right] \frac{\exp(-k_D h_d) \vec{e}_r}{1 - \exp(k_D h_d)}, \quad (3)$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость среды;
 ξ_d, ξ_D – поверхностные потенциалы частицы и стенки капилляра, В;
 k_D – обратная длине Дебая-Хаккеля величина.

Величина k_D определяется через заряд электрона e , ионную валентность z_B , концентрацию ионов c_s и температуру масла T_M по выражению [3, 4]

$$k_D = \left(\frac{8\pi e^2 c_s z_B}{\epsilon k_B T_M} \right), \quad (4)$$

где k_B – постоянная Больцмана, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/кг.

Зависимость (3) получена дифференцированием уравнения энергии взаимодействия при сближении тел с постоянными потенциалами. Учет природы присадок и ФМ при оценке \vec{F}_{DL} приведены в работах [1, 4]. Для унифицированных ММ с многофункциональными присадками МАСК, ПМС и ВНИИПЗ70 их влияние на взаимодействие ДФ и ФМ осуществлено на основе рекомендаций [1, 7].

Сумму сил тяжести \vec{F}_g и подъемной (сила Архимеда) \vec{F}_A находим по заданному направлению вектора \vec{g} относительно оси капилляра (рисунок 1)

$$\vec{F}_{gA} = \frac{3}{4} \pi r_d^3 \rho_{эф} [\cos \gamma_g \vec{e}_r + \sin \gamma_g \vec{e}_z], \quad (5)$$

где $\rho_{эф}$ – эффективная плотность частицы, $\rho_{эф} = \rho_d - \rho_m$, кг/м³;
 \vec{e}_z – единичный вектор в направлении z .

Сила $\vec{F}_{grad p}$, вызываемая разностью давлений дисперсионной среды (ДС) на частицу, движущуюся с потоком жидкости через капилляр, рассчитывается следующим образом

$$\vec{F}_{grad p} = \pi r_d^3 \text{grad } p_\phi \vec{e}_z, \quad (6)$$

где $\text{grad } p_\phi$ – градиент давлений по направлению z .

Кроме вышеперечисленных сил, на частицу, движущуюся в потоке, действует сила Сэффмана \vec{F}_s , связанная с градиентом скорости ДС в направлении r . Она возникает при разнице в скоростях жидкости и частицы (по оси z) и пропорциональна ей.

В соответствии с рекомендациями [4, 6] силу Сэффмана можно определять по зависимости

$$\vec{F}_s = 6,46 \mu_m v_m^{-1/2} (v_z - u_r) \frac{\partial v_z / \partial r}{[\partial v_z / \partial r]^{-1/2}} \vec{e}_r, \quad (7)$$

где μ_m, v_m – динамическая и кинематическая вязкость, Па·с и м²/с;

v_z – скорость ДФ около частицы, м/с.

Для силы сопротивления, действующую на частицу в неограниченном потоке при низких ReD , Стоксом получено выражение $\bar{F}_c = 6\pi\mu_m r_d \bar{u}$ [1, 3]. Однако при движении ДФ возле препятствия или близко к стенке капилляра возникает торможение из-за неодинаковых давлений и дополнительных касательных напряжений вокруг частицы. Влияние пристенных эффектов на движение частицы в ограниченном пространстве учитываются безразмерными коэффициентами \bar{f}_i [1].

Вследствие того, что при фильтровании через капилляры малого диаметра масштаб процесса значительно превосходит время релаксации, его допустимо считать квазистационарным. Проецируя на r, θ и z представленные формулами (2)-(7) внешние силы с учетом выражения \bar{F}_c для стационарного процесса фильтрования согласно уравнению (1) имеем

$$\begin{cases} \frac{4}{3}\pi r_d^3 \rho_{эф} g \sin \gamma_g \cos \theta + \frac{2}{3} \frac{Q_r r_d^2}{h_d^2 (3r_d + h_d)^2} + \frac{\epsilon r_d k_D (\xi_d^2 + \xi_D^2)}{2} \times \\ \times \left[\frac{2\xi_d \xi_D}{\xi_d^2 + \xi_D^2} - \exp(-k_D h_d) \right] \frac{\exp(-k_D h_d)}{1 - \exp(-2k_D h_d)} - 6\pi\mu_m r_d \bar{f}_r u_r = 0; \\ -\frac{4}{3}\pi r_d^3 \rho_{эф} g \sin \gamma_g \sin \theta + 6\pi\mu_m r_d \bar{f}_\theta u_\theta = 0; \\ \frac{4}{3}\pi r_d^3 \rho_{эф} g \cos \gamma_g - 6\pi\mu_m r_d \bar{f}_z (u_z - v_z) = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где $\bar{f}_r, \bar{f}_\theta, \bar{f}_z$ – коэффициенты, учитывающие дополнительное сопротивление движению частицы, вызываемое пристенными эффектами.

Система (8) представлена при пренебрежении действия на частицу сил \bar{F}_s и $\bar{F}_{grad\rho_\phi}$ из-за их малости по сравнению с другими. Плотность и размеры частиц ДФ загрязненного ММ таковы, что поперечную их миграцию, обусловленную градиентом скорости потока в направлении r и разницей $u_z - v_z$ можно не учитывать.

Решив систему уравнений (8) относительно u_r, u_θ и u_z получим выражения для скорости движения частицы в капилляре

$$u_r = \frac{2r_d^2 \rho_{эф} g \sin \gamma_g \cos \theta_d}{9\mu_m \bar{f}_r} + \frac{Q_r r_d^2}{9\pi\mu_m \bar{f}_r h_d^2 (2r_d + h_d)^2} + \frac{\epsilon k_D (\xi_d^2 + \xi_D^2)}{12\pi\mu_m \bar{f}_r} \left[\frac{2\xi_d \xi_D}{\xi_d^2 + \xi_D^2} - \exp(-k_D h_d) \right] \frac{\exp(-k_D h_d)}{1 - \exp(-2k_D h_d)}; \quad (9)$$

$$u_\theta = \frac{2r_d^2 \rho_{эф} g \sin \gamma_g \sin \theta_d}{9\mu_m \bar{f}_\theta}; \quad (10)$$

$$u_z = \frac{2r_d^2 \rho_{эф} g \cos \gamma_g}{9\mu_m \bar{f}_z} + v_z. \quad (10)$$

Для упрощения зависимостей (8)-(10) и приведения к безразмерному виду обозначим $E_{kd} = \frac{2\xi_d \xi_D}{\xi_d^2 + \xi_D^2}$, $h_d = R_d - r_p - r_d$, примем $E_{DL} = k_D r_d$; $\bar{R}_D = R_D / r_d$; $\bar{r}_p = r_p / r_d$. Величины u_r, u_θ и u_z выразим относительно средней скорости потока в капилляре v_{zm} .

Для характеристика разделительного процесса в капилляре используем адгезионную

$$N_{Ad} = \frac{Q_e}{9\pi\mu_m r_d^2 v_{zm}}, \text{ химмотологическую (электрокинетическую) } N_{DL} = \frac{\epsilon k_D (\xi_d^2 + \xi_D^2)}{12\pi\mu_m v_{zm}}$$

онную (подъемную) $N_{gA} = \frac{2r_d^2 \rho_{эф} g}{9\mu_m v_{zm}}$ группы отсева [1, 6], являющихся соответственно отношением вандерваальсовых, электрокинетических двойного слоя и гравитационно-подъемных сил к силе вязкого сопротивления.

В безразмерном виде выражения для скорости движения частицы в капилляре примут следующий вид:

$$\bar{u}_r = \frac{N_{gA} \sin \gamma_g \cos \theta_d}{\bar{f}_r} + \frac{Q_r}{\bar{f}_r (\bar{R}_D - \bar{r}_p - 1)^2 (\bar{R}_D - \bar{r}_p + 1)^2} + N_{DL} \left\{ E_{kd} - \exp[-E_{DL} (\bar{R}_D - \bar{r}_p - 1)] \right\} \frac{\exp[-E_{DL} (\bar{R}_D - \bar{r}_p - 1)]}{1 - \exp[-2E_{DL} (\bar{R}_D - \bar{r}_p - 1)]}; \quad (11)$$

$$\bar{u}_\theta = \frac{N_{gA} \sin \gamma_g \sin \theta_d}{\bar{f}_\theta}; \quad (12)$$

$$\bar{u}_z = \frac{N_{gA} \cos \gamma_g}{\bar{f}_z} + 2 \left[1 - \left(\frac{\bar{r}_p}{\bar{R}_D} \right)^2 \right]. \quad (13)$$

Оценку диффузионных явлений, вызывающих флуктуацию скорости движения частиц в капилляре, предлагается осуществлять через температуру масла T_M по соотношению Эйнштейна [2, 6]

$$D_d = k_B T_M / (6\pi\mu_m r_d).$$

В работах [1, 2, 4, 5] показано, что случайные воздействия на ДФ при фильтровании, вызывающие флуктуации скорости осаждения частиц в капиллярах, сводятся к процессам без последствия и для исследования можно применить аппарат случайных марковских процессов. Многими исследованиями [1, 6] доказано наличие связи стохастического дифференциального уравнения движения ДФ в порах при фильтровании с уравнением Колмогорова-Фоккера-Планка. Используем ее в рассматриваемой модели.

Стохастическому процессу стационарного фильтрования по капиллярной модели в координатах r, θ, z (рисунок 1), если пренебречь диффузионным переносом частиц в направлении θ и z , поставлена в соответствие следующая краевая задача

$$\begin{cases} \frac{\partial(\bar{u}_r \bar{r} W)}{\bar{r} d\bar{r}} - \frac{\partial(\bar{u}_\theta W)}{\bar{r} d\theta} - \frac{\partial(\bar{u}_z W)}{d\bar{z}} + \frac{\bar{D}_{dr}}{\bar{r}} \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left(\bar{r} \frac{\partial W}{\partial \bar{r}} \right) = 0; \\ G_r = -\bar{u}_r \bar{r} W + \bar{D}_{dr} \bar{r} \frac{\partial W}{\partial \bar{r}} \Big|_{\bar{r}=0} = 0; W|_{\bar{r}=\bar{R}_D} = 0; W(\bar{r}, \theta) \Big|_{\bar{z}=0} = 1. \end{cases} \quad (14)$$

В модели (14) $W(\bar{r}, \tau)$ характеризует многомерную плотность вероятности, которая в форме $W r dr d\theta dz$ по терминологии Маркова отождествляется с относительной концепцией частиц ДФ в рассматриваемой точке фазового пространства [2, 3].

Граничные условия определены из условия полного захвата (отсева) частиц, поступающих в капилляр и осаждающихся на его стенках, а также отражения их при достижении координаты $\bar{r} = 0$ с возвратом в фазовое пространство. Условие $W(\bar{r}, \theta) \Big|_{\bar{z}=0} = 1$ означает, что плотность вероятности W равномерно распределена в объеме поступающей на фильтрование ДС и ее значение на входе в капилляр по его фронту равно 1.

Фракционный коэффициент отсева φ_{dD} частиц радиусом r_d при фильтровании суспензии через капилляры диаметром D определится потоком вероятности G_r в направлении r на длине z (толщине $h_{\Phi M}$ ФМ) поры цилиндрической формы

$$\varphi_{dD} = \frac{\int_0^{\bar{h}_{\Phi M}} \int_0^{2\pi} \left(-\bar{u}_r \bar{r} W + \bar{D}_{dr} \bar{r} \frac{dW}{d\bar{r}} \right)_{\bar{r}=\bar{R}_D} d\theta d\bar{z}}{\int_0^{\bar{h}_{\Phi M}} \int_0^{2\pi} (\bar{u}_r \bar{r} W)_{\bar{z}=0} \bar{r} d\theta d\bar{r}}, \quad (15)$$

где безразмерная координата \bar{z} и толщина ФМ соответствуют $\bar{z} = z/r_d$; $\bar{h}_{\Phi M} = h_{\Phi M}/r_d$.

Фракционный коэффициент отсева можно также рассчитать через поток вероятности на входе и выходе из капилляра

$$\varphi_{dD} = 1 - \frac{\int_0^{\bar{R}_D} \int_0^{2\pi} (\bar{u}_z W)_{\bar{z}=\bar{h}_{\Phi M}} \bar{r} d\theta d\bar{r}}{\int_0^{\bar{R}_D} \int_0^{2\pi} (\bar{u}_z W)_{\bar{z}=0} \bar{r} d\theta d\bar{r}}. \quad (16)$$

Для решения задачи (14) в сечениях цилиндрического капилляра строилась сеточная

область из клеток квадратной, прямоугольной и других форм. В координатной системе r, θ, z наиболее приемлемо разбиение сечения капилляра на сегментные элементы. Рассматриваемое дифференциальное уравнение (14) заменялось в узлах построений сетки соответствующими конечно-разностными уравнениями. Далее на основании заданных граничных условий устанавливали значения искомого решения в граничных узлах рассматриваемой области.

Решив алгебраическую систему с большим числом неизвестных, находили значения искомой функции в узлах сетки. Таким образом, получили численное решение поставленной задачи. Переходили от одного сечения капилляра к другому, определяли распределение W по всему объему капилляра, начиная от входа в него и перемещаясь к выходу.

Наиболее оптимален для многомерной модели движения и отсева частиц в капилляре метод контрольного объема, который позволяет соблюсти баланс вероятности по координатам r и z при любых соотношениях конвективных и диффузионных членов уравнения Колмогорова-Фоккера-Планка. Особенно он эффективен при доминирующем влиянии группы отсева N_{gA} и действие ее в широком диапазоне угла γ_g , учитывающего направление вектора \vec{g} относительно оси капилляра.

Задача (14)-(16) перемещения и отсева ДФ в капиллярах решалась в одно, двух и трехмерной постановке методом сеток по конечно-разностной схеме путем прогонки с аппроксимацией против потока. Причем чаще всего использовался метод контрольного объема [1, 3, 6]. Он полностью удовлетворяет всем требованиям к разностным схемам. Наиболее точные результаты получены, если контрольный объем задавали в форме цилиндрического сегмента с углом $\Delta\theta$, толщиной Δr на радиусе r при длине Δz .

Возможности стохастической капиллярной модели фильтрации при очистке ММ от мелкодисперсного загрязнителя приведены на рисунке 2 и 3. Анализ влияния различных групп отсева на отфильтровывание НРП из ММ показывает важность учета диффузионных процессов при его очистке. С возрастанием плотности частиц влияние группы N_{gA} над другими в их отсеве превалирует. Увеличение N_{Ad}, N_{gA}, N_{DL} и других групп ослабляет диффузионный отсев и уменьшает разницу в значениях φ_{dD} , рассчитанных по стохастической модели с учетом диффузии и без нее. С увеличением \bar{r}_d погрешность расчета фракционного коэффициента отсева путем решения дифференциального уравнения (14) и интегрирования выражений (15) и (16) растет.

Результаты стохастического моделирования эффективности фильтрации по капиллярной модели (рисунок 2 и 3) показывают хорошую их сходимость с экспериментальными данными в широком диапазоне действия групп отсева N_{Ad}, N_{gA}, N_{DL} и коэффициента диффузии D_{dr} для частиц с $\bar{r}_d \leq 0,3$. В этом случае погрешность определения φ_{dD} по детерминированной модели, не учитывающей диффузионные явления, может превышать 20%.

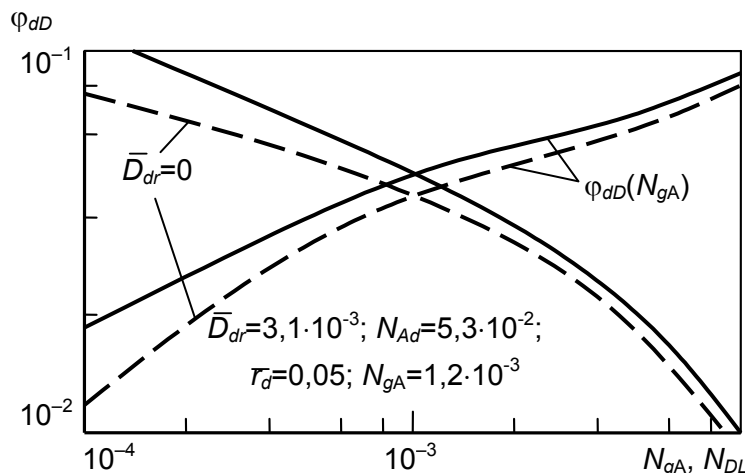


Рисунок 2 – Влияние химмотологической и седиментальной групп на фракционный отсев ДФ

Наибольшее снижение φ_{dD} наблюдается при увеличении концентрации в ММ моще-диспергирующих и стабилизирующих присадок. Особенно интенсивно это наблюдается при

$N_{DL} > 0,3 \cdot 10^{-2}$ (рисунок 2). Не учет диффузионных процессов приводит к снижению значений φ_{dD} . При этом по мере роста N_{DL} действие \bar{D}_{dr} на отсев ДФ ослабевает.

С увеличением N_{gA} , фракционный коэффициент отсева монотонно возрастает. Если направление силы тяжести и подъемной (силы Архимеда) совпадает с направлением потока и ДФ движется с его опережением, то экспериментальное значение φ_{dD} несколько выше расчетного.

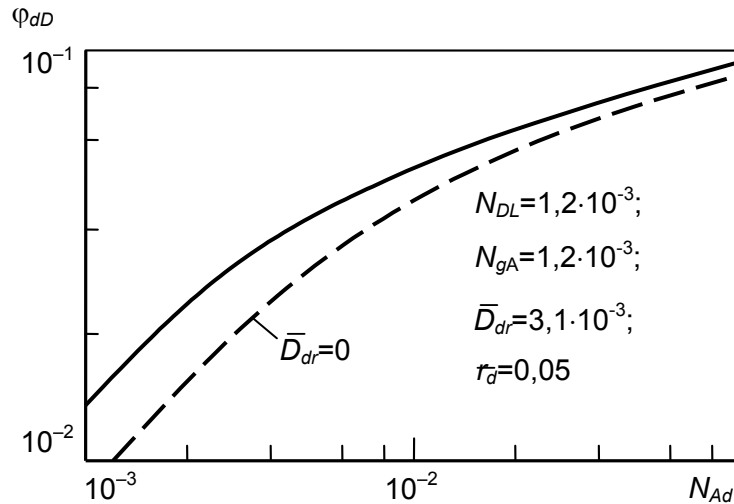


Рисунок 3 – Влияние адгезионной группы на фракционный отсев ДФ

Рост значений адгезионной группы отсева способствует увеличению φ_{dD} (рисунок 3). Особенно интенсивно возрастание отсева наблюдается в диапазоне $N_{Ad} = (2-40) \cdot 10^{-4}$. Диффузия частиц загрязнений за счет броуновского движения способствует росту их отсева при фильтровании мелкодисперсных суспензий. Увеличение N_{Ad} ослабевает действие \bar{D}_{dr} на осаждение ДФ в капилляре.

Приведенные расчетные иллюстрации подтверждают важность учета диффузии мелких частиц при моделировании их отсева по капиллярной модели. По интенсивности влияния групп отсева на φ_{dD} их можно расположить в следующей последовательности (по мере возрастания влияния): N_{DL} , N_{gA} , N_{Ad} . Расчеты показали, что при моделировании отсева мелкодисперсной ДФ по стохастической капиллярной модели учет действия этих компонентов обязателен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. -372 с.
- 2 Кича, Г.П. Новые стохастические модели процесса очистки горюче-смазочных материалов в ДВС / Г.П. Кича // Двигателестроение. -1989. -№ 11. -С. 18-23.
- 3 Перминов, Б.Н. Новые стохастические модели очистки топлив и моторных масел в судовых тронковых дизелях / Б.Н. Перминов // Трансп. дело России. -2004. -№ 2 СП. -С. 45-51.
- 4 Кича, Г.П. Стохастическое моделирование фильтрования горюче-смазочных материалов в корабельных системах топливо-и маслоочистки / Г.П. Кича, Н.Н. Таращан, А.В. Голенищев // Проблемы и методы вооружения и воен. техники ВМФ / ТОВМИ. -Владивосток, 2008. -Вып. 65. -С. 152-159.
- 5 Перминов, Б.Н. Стохастическая модель очистки фильтрованием используемых в ДВС горюче-смазочных материалов / Б.Н. Перминов // Двигателестроение. -2014. -№ 4. -С. 38-42.
- 6 Кича, Г.П. Стохастическая ячеистая модель очистки горюче-смазочных материалов ДВС фильтрованием / Г.П. Кича // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№ 1. -С. 246-251.
- 7 Кича, Г.П. Теоретические основы расчета и интенсификации очистки топлив и масел в ДВС фильтрованием / Г.П. Кича // Двигателестроение. -1986. -№ 5. -С. 25-29.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *фильтрование, очистка масла, капиллярная модель, стохастичность разделения*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*
Таращан Николай Николаевич, преподаватель ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
Надежкин Андрей Вениаминович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМОВ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНИКИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.О. Токарев, И.Г. Мироненко

EFFECT OF THE CONSTRUCTION OF MECHANISMS ON THE GUARANTEE OF RELIABILITY AND THE DURATION OF THE LIFE CYCLE OF THE TECHNICAL OBJECTS

Siberian state university of water transport
A.O. Tokarev, I.G. Mironenko

Results of the analysis of causes of the failures of different technical objects are represented. The inadmissibility of simplification in the construction of mechanisms is presented, if this leads to reduction in their reliability.

Keywords: reliability and the duration of the life cycle of technology, analysis of causes for failures and their preventive maintenance

Представлены результаты анализа причин отказов различных технических устройств. На примере аварии дизеля показана недопустимость упрощения конструкции механизмов с целью удешевления их изготовления и эксплуатации в ущерб надёжности.

Современная система менеджмента качества для обеспечения надёжности техники требует анализа причин аварийного разрушения и преждевременного изнашивания деталей машин.

Анализ отказов различных судовых машин и механизмов позволяет выделить основные этапы жизненного цикла продукции судового машиностроения, установить причины отказов на каждом из этапов (рисунок 1), определить долю каждой из причин (рисунок 2) и выявить их причинно-следственные связи (рисунок 3).



Рисунок 1 – Основные этапы жизненного цикла продукции судового машиностроения и причины отказов механизмов



Рисунок 2 – Влияние факторов на число поломок и преждевременного выхода из строя деталей судовой техники

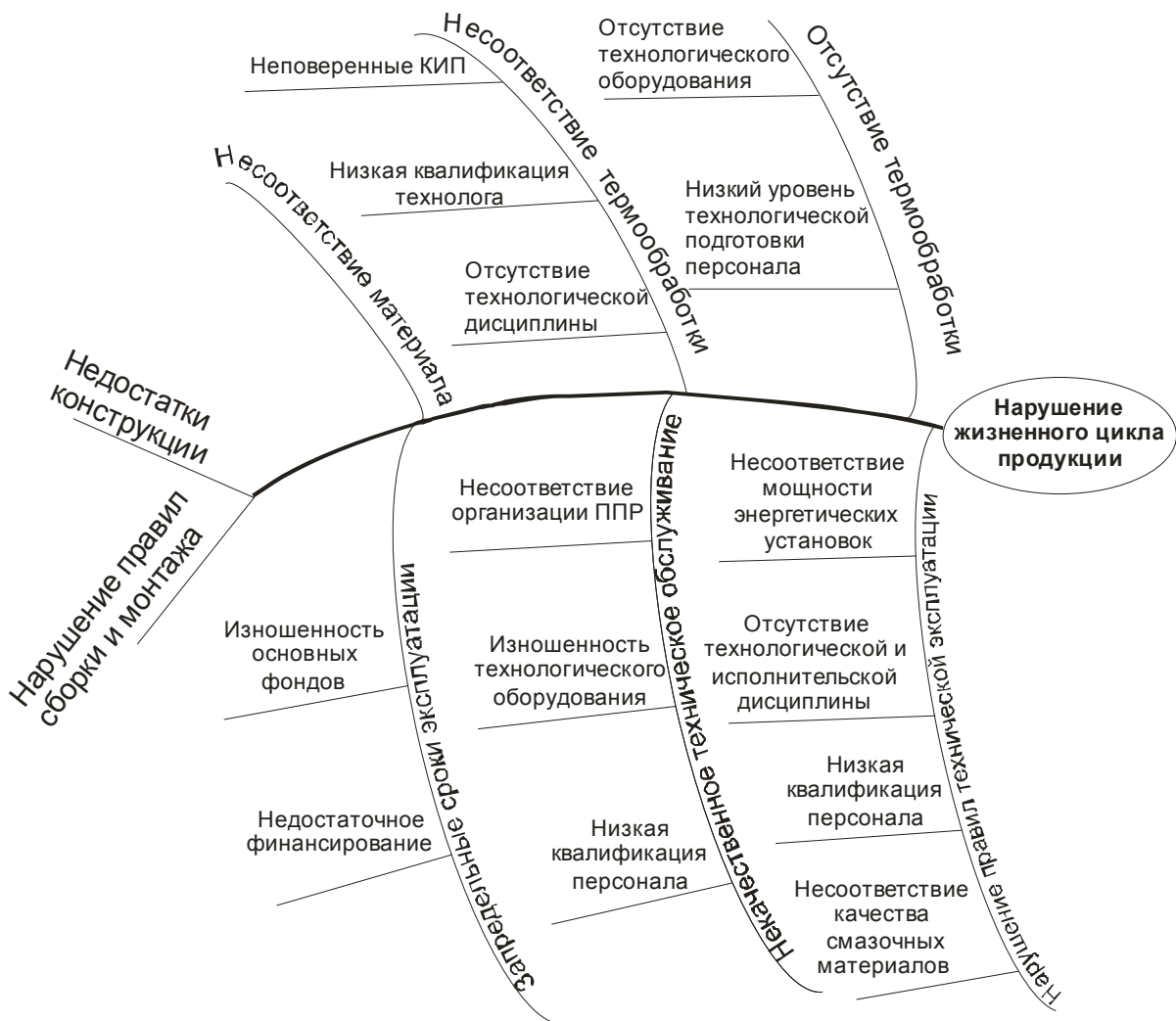


Рисунок 3 – Причинно-следственные связи отказов судовой техники

Причины аварийного выхода детали машин из строя могут быть заложены ещё при проектировании механизма. Вероятность разрушения деталей машин вследствие недостатков конструкции, как показывает статистическая обработка накопленных в течение тридцати лет данных, по разным деталям машин составляет около 3% [1-3]. Как правило, недостатки конструкции в случаях аварийных ситуаций усугубляются одновременным действием других неблагоприятных факторов, в частности превышением срока допустимой эксплуатации, превышением допустимых нагрузок, эксплуатацией в экстремальных условиях, нарушением правил технической эксплуатации и т.п., что в настоящее время имеет место на большинстве отечественных предприятий речного флота.

Приблизительно такую же долю снижения надёжности продукции машиностроения, как показывает анализ оригинальной технологической документации, вносят ошибки при разработке технологии изготовления деталей машиностроения.

Большую долю в вероятность отказов машин и механизмов при эксплуатации вносят нарушения технологической дисциплины при их изготовлении. Среди причин разрушения можно выделить:

- несоответствие материала;
- отсутствие термического упрочнения;
- несоответствие режимов термического упрочнения и, как следствие, заниженная твёрдость;
- несоответствие технических условий выполнения термической обработки (обезуглероживание поверхности при закалке с нагревом без использования защитной атмосферы печи);
- карбидная сетка, созданная при химико-термической обработке.

Следует отметить, что указанные причины, связанные с низкой технологической дисциплиной, возникают, как правило, не на заводах – изготовителях, а вносятся при ремонте, выполненном на мелких ремонтно-эксплуатационных базах, в ремонтных мастерских, а также в ходе восстановления аварийных механизмов в течение навигации. Такие ремонтные предприятия являются также виновниками нарушений правил сборки и монтажа механизмов и конструкций.

Серьёзным фактором снижения надёжности и долговечности механизмов являются разнообразные нарушения правил технической эксплуатации.

Нелишне иметь в виду при проектировании механизмов, конструкций, сооружений также требования по их последующему демонтажу и утилизации.

Усилия учёных, конструкторов, технологов направлены на создание материалов и технологий, обеспечивающих надёжную работу судовой техники вплоть до полного исчерпания ресурса механизмов и машин. Одновременно с этим на конструкцию машин, в частности двигателей внутреннего сгорания влияет желание упростить сборку, демонтаж, удешевить конструкцию, уменьшить номенклатуру сменно-запасных частей. При этом может быть утрачена надёжность конструкции.

Подтверждением этого служат результаты расследования аварии судового трёхцилиндрового высокооборотного двигателя марки TD226B-3CD, мощностью 30 кВт, производимого по лицензии компании «Deutz» (Германия).

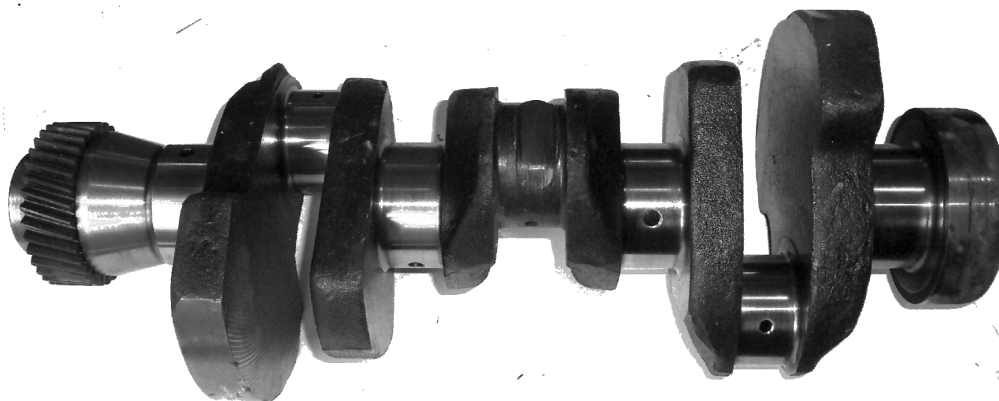


Рисунок 4 – Коленчатый вал двигателя марки TD226B-3CD, потерпевшего аварию при эксплуатации

В процессе работы двигателя произошёл отрыв крышки шатуна второй шатунно-поршневой группы. Вторая шатунная шейка коленчатого вала двигателя и прилегающие к ней участки щек после аварии оказались покрыты глубокой окалиной (рисунок 4). На поверхности второй шатунной шейки осталась глубокая вмятина, со смещением металла, шириной соответствующей ширине стержня шатуна, а также многочисленные задиры и забоины.

Как установлено анализом сопутствующих аварии двигателя обстоятельств, причиной послужило вывёртывание одного из шатунных болтов из резьбового отверстия нижней головки, выполненного непосредственно в стержне шатуна. Каких-либо стопорных элементов резьбового соединения конструкцией двигателя не предусмотрено. Параметры резьбы М10×1,25 и усилие затяжки при сборке не обеспечили самоторможения. В результате появившегося зазора в сопряжении подшипника нижней головки шатуна и шатунной шейки коленчатого вала масло перестало удерживаться на трущихся поверхностях. Режим трения изменился с жидкостного на сухое контактное, сопровождающееся ударами шейки коленчатого вала по вкладышам. Сухое трение вызвало перегрев подшипника. Началась деформация элементов нижней головки шатуна (рисунок 5). Это привело к разрушению вкладыша, а также к смятию и срезу резьбы в вывёртываемом шатунном болте. Болт вырвался из резьбового отверстия, следом был разорван другой болт (рисунок 6).

При том, что подобные аварии случаются не часто, они приводят к большому ущербу: прямому (затраты на ремонт двигателя) и косвенному (утраченная коммерческая выгода транспортного предприятия, потеря доверия к бренду и т.д.). Причина, вызвавшая аварию, носит системный характер, и



Рисунок 5 – Наружный вид шатуна второй шатунно-поршневой группы после аварии

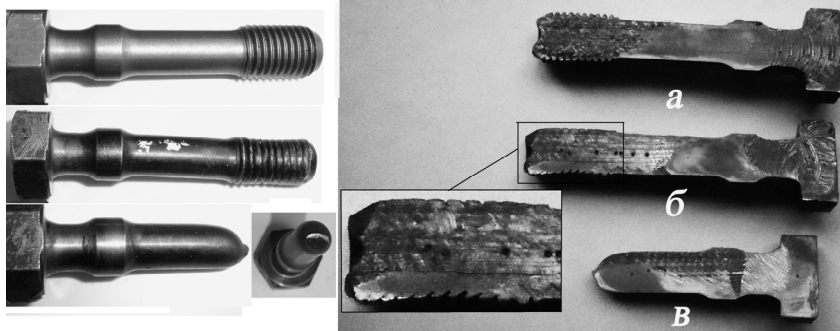


Рисунок 6 – Шатунные болты двигателя марки TD226B-3CD (слева – наружный вид, справа – шлиф в осевом сечении): а) – болт из комплекта СЗЧ; б) – болт, выпавший из резьбового гнезда шатуна; в) – фрагмент разорвавшегося при аварии болта

техники / А.О. Токарев, И.С. Иванчик, С.Н. Иванчик. -Новосибирск: Изд-во ФГОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. вод. трансп.», 2010. - 250 с.

3 Токарев, А.О. Отказы узлов и деталей машин. Анализ причин и профилактика / А.О. Токарев, И.С. Иванчик, С.Н. Иванчик. -Б. м.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. -195 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: надёжность и продолжительность жизненного цикла техники, анализ причин отказов и их профилактика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Токарев Александр Олегович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Мироненко Игорь Геннадьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

подобные случаи могут повторяться. Следует признать, что требование безопасности жизнедеятельности транспортных процессов обуславливает недопустимость упрощения конструкции механизмов с целью удешевления их изготовления и эксплуатации в ущерб надёжности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Токарев, А.О. Анализ условий обеспечения жизненного цикла деталей судовой техники / А.О. Токарев, И.С. Иванчик, С.Н. Иванчик // Реч. трансп. XXI в. -2011. -№3. -С. 78-79.

2 Токарев, А.О. Анализ причин и профилактика аварий деталей судовой

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНОЙ ГЛУБОКОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Керченский государственный морской технологический университет

С.Г. Черный

EVALUATION OF EFFECTIVENESS FOR COMPLEX DEEPWATER SYSTEM MINING AND QUARRYING

Kerch state maritime technological university

S.G. Chernyy

The estimation of efficiency of complex deepsea mining system. Developed the methodology for evaluating the performance of complex deep-water system based on the use of computational methods and logical method of statistical tests Monte Carlo.

Keywords: deep-water system, minerals, efficiency, operation, terotechnology

Рассматривается оценка эффективности сложной глубоководной системы (СГВС) добычи полезных ископаемых. Разработана методология оценки эффективности функционирования СГВС основанная на использовании логико-вычислительного метода и метода статистических испытаний Монте-Карло.

Увеличение добычи полезных ископаемых со дна моря и повышение степени интеллектуализации оборудования потребовали применения комплексного подхода к обеспечению требуемой эффективности функционирования оборудования. Этот подход заключается в решении ряда проблем, связанных с проектированием, изготовлением, эксплуатацией, техническим обслуживанием, ремонтом и модернизацией оборудования. В целом, такой подход предусматривает создание системы обеспечения эффективного функционирования агрегатов и оборудования сложной глубоководной системы (СГВС), с учетом указанных факторов, в течение всего срока службы, и получивший название «теротехнология» (ТТ) [1-3], то есть технология обеспечения эффективной работы оборудования СГВС в течение всего срока его службы с учётом технических, технологических и организационных факторов и связей между ними. ТТ классифицирует принципы и элементы технического обслуживания и ремонта, учитывая моральный износ оборудования СГВС.

Постановка задачи. Факторы ТТ определяют условия достижения требуемой эффективности функционирования СГВС. Поэтому целью настоящей статьи является оценка технической эффективности СГВС.

Решение задачи. Эффективность характеризуется показателем эффективности, который принимают в зависимости от назначения оборудования и его роли в технологическом процессе. Для СГВС в качестве показателя эффективности примем величину эксплуатационной надежности, при этом оптимальная величина эксплуатационной надежности соответствует максимальной эффективности функционирования оборудования.

При определении эффективности СГВС возникают затруднения, обусловленные тем, что любая система является подсистемой некоторой другой системы более высокого уровня и между ними возникает взаимосвязь. Оценка эффективности той или иной подсистемы СГВС можно облегчить, если задать качество функционирования всех других подсистем. В соответствии с этим, под эффективностью СГВС будем понимать степень её приспособленности к выработке выходных (управляющих) сигналов, обеспечивающих необходимые режимы управления, при заданных качественных характеристиках остальных технических частей.

Как следует из [1], тенденции оценки эффективности сложных систем управления основаны:

1 На определении математического ожидания приращения функционала качества производства СГВС

$$M_{\Delta K} = M_{K_2} - M_{K_1}; K_i = \frac{\Pi}{\Phi_{\Sigma} \alpha_{o,n}}; i = 1, 2, \quad (1)$$

где Π – абсолютная величина прибыли за рассматриваемый период;

Φ_{Σ} – средняя хронологическая сумма производственных основных и оборотных средств за отчетный период;

$\alpha_{o,n}$ – коэффициент, характеризующий продолжительность отчетного периода;

M_{K_2}, M_{K_1} – математическое ожидание значения функционала качества ведения произ-

водства соответственно до и после внедрения системы управления.

2 На определении критерия W , который зависит от ряда величин, относящихся к одной из следующих групп:

- входные условия (исходные данные) $\alpha_1, \alpha_2, \dots$;
- параметры вычислительных средств, в которых осуществляется преобразование входной информации в управляющую m_1, m_2, \dots ;
- параметры системы управления β_1, β_2, \dots .

Другими словами

$$W = W \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots; m_1, m_2, \dots; \beta_1, \beta_2, \dots \},$$

на определении показателя

$$E = D/C,$$

где D – эффект от внедрения системы;

C – затраты на разработку.

Недостатком приведенных критериев эффективности является их слишком общий вид, что не дает возможности исследовать с необходимой степенью детализации характера взаимосвязей и взаимодействия отдельных параметров системы управления. В связи с этим необходимо найти способы выделения частных критериев отдельных подсистем, которые позволили бы избежать указанных затруднений. Поскольку на эффективность функционирования СГВС оказывают влияние [3, 4]: характеристики пользователей информации; характеристики и параметры потоков запросов и ответов; характеристики решаемых функциональных задач; характеристики и параметры технологических процессов; характеристики и структура банков данных и ряд других параметров, то приходим к выводу, что единого мнения относительно состава показателей не существует. В настоящее время отсутствует единая методика расчета эффективности функционирования СГВС, поэтому возникает целесообразность ее разработки.

Сложная глубоководная система характеризуется [2, 3] стохастическими законами поведения и самоорганизацией. Поэтому вышеприведенная постановка задачи может быть переформулирована в следующем виде: разработать методологию оценки эффективности СГВС с использованием логико-вычислительного метода и метода статистических испытаний (Монте-Карло) [1]. В силу динамики структуры и разнообразия решаемых задач СГВС функционирует с различными показателями качества. Каждое состояние (событие) H_i системы характеризуется выходным эффектом (событием) F_i . Вероятность нахождения системы в этом состоянии определяется величиной $P(H_i)$. Поскольку события H_i , F_i и независимы, то эффективность функционирования системы определяется выражением

$$E = \sum_{i=1}^n P(H_i)P(F_i). \quad (2)$$

Выходные эффекты состояний системы определяются физическим или имитационным моделированием.

Задачи оценки количественных характеристик эффективности носит вероятностный характер, поэтому для определения выходных эффектов применим метод статистических испытаний (Монте-Карло). В процессе моделирования воспроизводится некоторая формализованная схема являющаяся, с одной стороны, логико-математической функциональной моделью – описанием реальной системы, а с другой – предметно-математической структурой, моделью – интерпретацией. Вероятностные характеристики этой структурной модели адекватны решениям задач математического анализа. Для определения выходных эффектов F_i наиболее целесообразна экспериментальная проверка функционирования системы, во время которой исследуется влияние отказов отдельных элементов системы на его выходной эффект. Такое исследование базируется на априорном анализе предполагаемой работы системы с учетом функциональных и структурных связей.

Выражение (2) для системы, имеющей n дискретных состояний, образующих полную группу несовместимых событий, при выполнении системой частных задач запишется в следующем виде

$$E_n = \sum_{\eta=1}^p \sum_{i=1}^n P_{\eta} P(H_i) P_{\eta} \left(\frac{A}{H_i} \right), \quad (3)$$

где P_η – вероятность выполнения η -й частной задачи ($\eta = \overline{1, \rho}$);

$P(H_i)$ – вероятность нахождения системы в i -ом состоянии ($i = \overline{1, n}$);

$P_\eta \left(\frac{A}{H_i} \right)$ – условная вероятность события A , означающего выполнение системой своих функций на некотором уровне качества, достаточном для решения η -й частной задачи, при нахождении системы в i -м состоянии.

Таким образом, математическая модель эффективности функционирования системы для каждой η -й частной задачи с соответствующей вероятностью выполнения P_η содержит элементы модели, изображающие возможные состояния $P(H_i)$, и элементы модели, изображающие выходные эффекты в данном состоянии.

Для исследования эффективности функционирования системы необходима формализация различных её состояний. С этой целью целесообразно использовать принцип поэтапного анализа состояний системы в сочетании с методом статистического моделирования процесса её функционирования на ЭВМ. Функцию, описывающую условие работоспособности, можно представить в виде матрицы, где в строках записаны различные кратчайшие пути успешного функционирования системы, а столбцы матрицы определяется числом таких путей. Матрица условий работоспособности системы дополняется матрицей выходных эффектов $\{F_i\}$. Формируя случайным образом, состояние системы, сравниваем его с матрицей условий работоспособности, и в случае, если это состояние относится к одному или нескольким рабочим состояниям, ему приписывается из матрицы $\{F_i\}$ соответствующий выходной эффект F_i системы в этом состоянии. Затем эта информация записывается в память ЭВМ и формируются новые состояния. После окончания формирования всех работоспособных состояний, записанных в ячейках памяти, они передаются следующим операторам, вычисляющим количественную характеристику технической эффективности.

В отличие от применяемого случайного формирования работоспособных состояний, разработан логико-вычислительный метод, его сущность состоит в том, что состояние формируется с помощью дискретного задания состояний исходя из того, что число состояний системы будет определяться количеством дискретных состояний модулей, то есть 2^N . В этом случае выходной эффект F_m системы, находясь в m -м состоянии, вычисляется с помощью матрицы $\{F_i\}$ размерностью $G \times N$, где G - число подсистем СГВС, а N - число модулей Q_{ij} .

Система, находящаяся в m - состоянии, характеризуется матрицей - строкой, состоящей из модулей Q_{ij} . Эта матрица последовательно сравнивается со всеми строками матрицы $\{F_i\}$. Если всем элементам строки матрицы $\{F_i\}$, равным единице (1), соответствует единица в матрице-строке, то, следовательно, в m -м состоянии системы подсистема является работоспособной. Таким образом, находят номера всех работоспособных подсистем СГВС находящихся в m -м состоянии и F_m определяют как сумму выходных эффектов работоспособных подсистем.

Путем последовательного перебора 2^N возможных состояний системы, начиная с матрицы – строки $\{0\}$ и кончая матрицей строкой $\{1\}$, вычисляют эффективность системы при выполнении η -частной задачи, то есть

$$E_\eta(t) = \sum_{m=1}^{2^N} P(H_m) P(F_{\eta m}) \prod_{k=1}^{m-1} Q_k. \quad (4)$$

Суммируя выражение (4) по всем η (с учетом P_η), получаем численное значение показателя эффективности функционирования системы $E(t)$. Блок-схема модели оценки эффективности функционирования СГВС приведена на рисунке, где в качестве исходных данных принято: M -число модулей; L -число временных интервалов; KR -число подсистем; K -максимальное число отказавших модулей; E_2 -минимальное значение выходного эффекта; $BP(M)$ -частота отказов; $KT(L)$ -временные интервалы; $EF(KR)$ -коэффициенты эффективности системы по подсистемам; $BF(M)$ -матрица выходных эффектов.

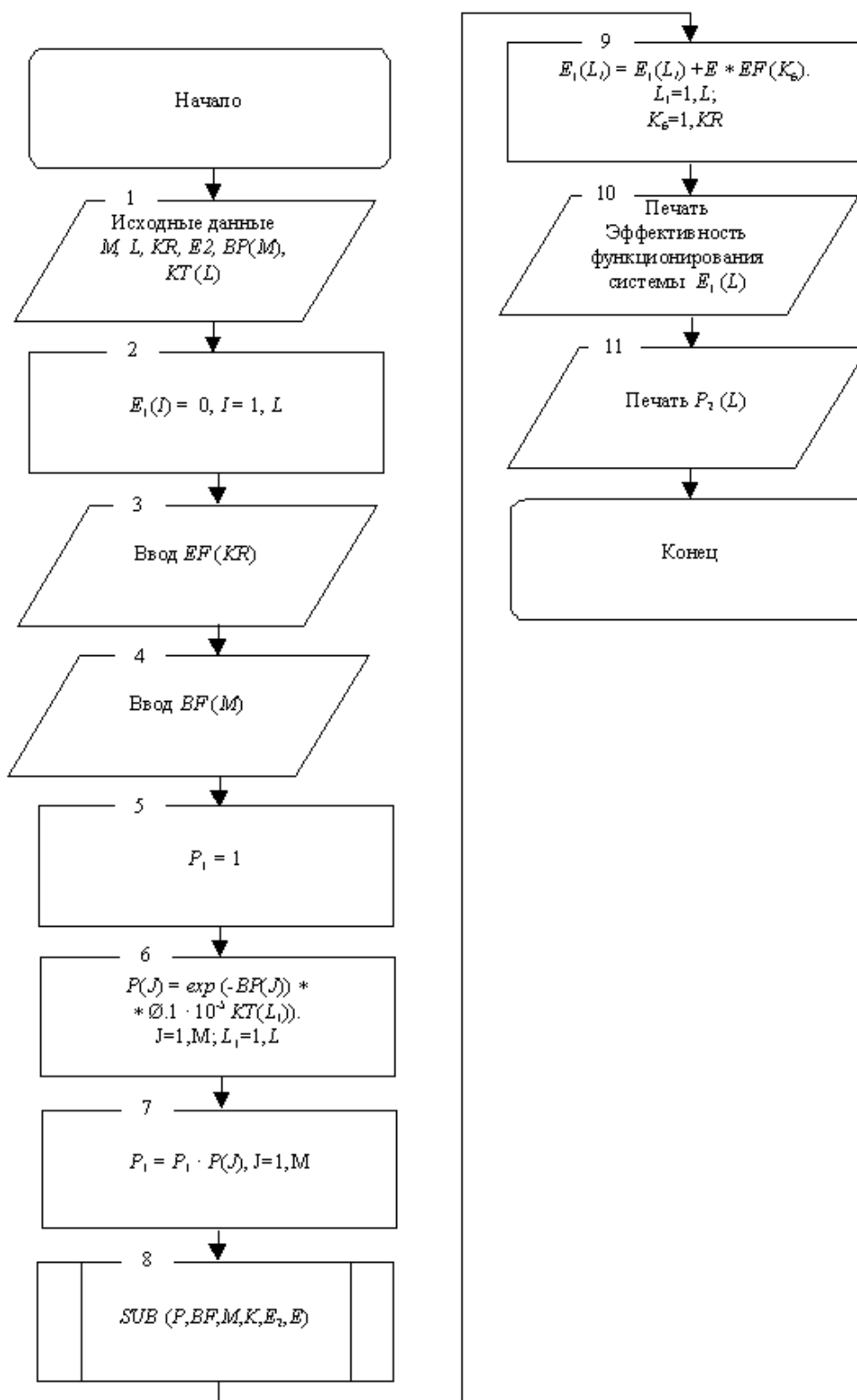


Рисунок – Алгоритм оценки эффективности СГВС

Реализация алгоритмов (рисунок) осуществлялась в пакет Data Mining [4, 5]. Используем только систему MiningModelWizard пакета Data Mining.

Выводы. Разработана методология оценки эффективности функционирования СГВС основанная на использовании логико-вычислительный метода и метода статистических испытаний Монте-Карло и реализованных в пакете Data Mining. Представлены способы выделения частных критериев отдельных подсистем, которые позволяют учитывать, с необходимой степенью детализации, характер взаимосвязей и взаимодействий отдельных параметров детализации, характер взаимосвязей и взаимодействий отдельных параметров системы

управления СГВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Боголюбов, А. А. Формирование структуры сложной системы управления / А. А. Боголюбов, В. Б. Галютин // Теоретические и прикладные проблемы создания систем управления технологическими процессами: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. / ЧГУ. -Челябинск, 1990. -С. 3-17.
- 2 Годлевский, М. Д. Проблемы и основные подходы к управлению развитием распределенных технико-экономических систем / М. Д. Годлевский // Вестн. нац. техн. ун-та ХПИ. -Харьков, 2000. -Вып. 99. -С. 48-53.
- 3 Годлевский, М. Д. Задачи координации и управления развитием иерархических распределенных систем на основе государственных механизмов регулирования / М. Д. Годлевский, О. В. Пленис // Вестн. нац. техн. ун-та ХПИ. -Харьков, 2002. -№3. -С. 57-64.
- 4 Чёрный, С. Г. Применение механизма информационных интеллектуальных моделей в системах автоматического управления / С. Г. Чёрный // Вестн. Херсон. нац. техн. ун-та. -2012. -№ 1(44). -С. 215-220.
- 5 Макленнен, Джеми. Microsoft SQL Server 2008: Data mining -интеллектуальный анализ данных: [пер. с англ.] / Джеми Макленнен, Чжаохуэй Танг, Богдан Криват. -Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2009. -720 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *глубоководная система, полезные ископаемые, эффективность, эксплуатация, термотехнология*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Черный Сергей Григорьевич, канд. техн. наук, доцент КГМТУ*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *298309, г.Керчь, ул.Орджоникидзе, 82, КГМТУ*

ПРИМЕНЕНИЕ ВИНТОВЫХ ПРУЖИН В ОПОРАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

О.В. Щербакова, Ю.В. Борисенко

THE USE OF COIL SPRINGS IN THE SUPPORTS OF POWER EQUIPMENT
 Siberian state university of water transport
 O.V. Shcherbakova, J.V. Borisenko

In the article the influence of the design of the vibrationisolator on his noise-reducing properties. The most significant properties of supports: load capacity and stiffness.

Keywords: coil springs, load capacity, stiffness, first own frequency of the steel spring, springs of small diameter

Рассмотрено влияние конструкции виброизолятора на его шумозащитные свойства. Исследованы наиболее существенные свойства опоры: грузоподъёмность и жёсткость.

Новые типы судовых энергетических систем и механизмов являются причиной возникновения структурного шума и низкочастотной звуковой вибрации на судах. В частности, повышение частоты вращения и числа цилиндров энергетических установок речных судов увеличивает частотный диапазон шума и вибрации. Тем самым ставятся новые задачи в решении этой актуальной и не решенной до сих пор проблемы.

Существующие конструкции виброизоляторов неэффективны для звуковых частот и требуют замены на новые. Один из вариантов, решения данной проблемы основан на множестве пружин небольшого размера с повышенным шумовым поглощением, за счёт внутреннего рассеивания энергии.

Какое влияние оказывает конструкция виброизолятора на его шумозащитные свойства? Этот вопрос содержит несколько условий связанных с практическим применением опор в подвесках двигателей внутреннего сгорания. Наиболее существенным свойством опоры является её грузоподъёмность и жёсткость [1]. Оба свойства определяют резонансные частоты в модели подвески с безмассовыми опорами и двигателем как твёрдым телом.

Важным для дальнейшего исследования является вопрос о направлении усилия в пружинах. Многовитковые пружины при сжатии теряют поперечную жёсткость и переходят к нелинейным деформациям. При малом числе витков пружины хорошо проводят звук.

Как замену опорам с одной пружиной рассмотрим множество Z пружин с той же суммарной жёсткостью и грузоподъёмностью.

Зададим жёсткость одной пружины

$$c_0 = \frac{Gd}{8i^3 n}, \text{ Н/м}, \tag{1}$$

где G – модуль сдвига, Па;

d – диаметр проволоки, м;

i – индекс пружины;

n – число витков.

Грузоподъёмность одной пружины

$$F_0 = \frac{\pi d^2 \tau}{8i}, \text{ Н}, \quad (2)$$

где τ – касательные напряжения, Па.

Жёсткость всей опоры из множества пружин

$$c = Z \frac{Gd}{8i^3 n}, \text{ Н/м}. \quad (3)$$

Грузоподъёмность всей опоры из множества Z пружин

$$F = Z \frac{\pi d^2 \tau}{8i}, \text{ Н}. \quad (4)$$

Отношение жёсткости к грузоподъёмности должно сохраняться независимо от числа пружин в опоре

$$\frac{\pi d \tau i^2 n}{G} = \text{Const}. \quad (5)$$

Допустим, что модуль сдвига, индекс и касательные напряжения не зависят от числа пружин, тогда сохраняется произведение диаметра проволоки на число витков. В традиционном виброизоляторе не более пяти витков, при малом диаметре проволоки число витков возрастает.

Диаметр витка связан с диаметром проволоки через индекс. При заданной грузоподъёмности число пружин зависит от диаметра проволоки квадратично. Площадь, занимаемая пружиной, зависит от диаметра проволоки как обратный квадрат. Обе зависимости дают постоянную площадь опоры независимо от диаметра проволоки.

Конструкция одинаковых по жёсткости и грузоподъёмности опор приведена на рисунке 1.

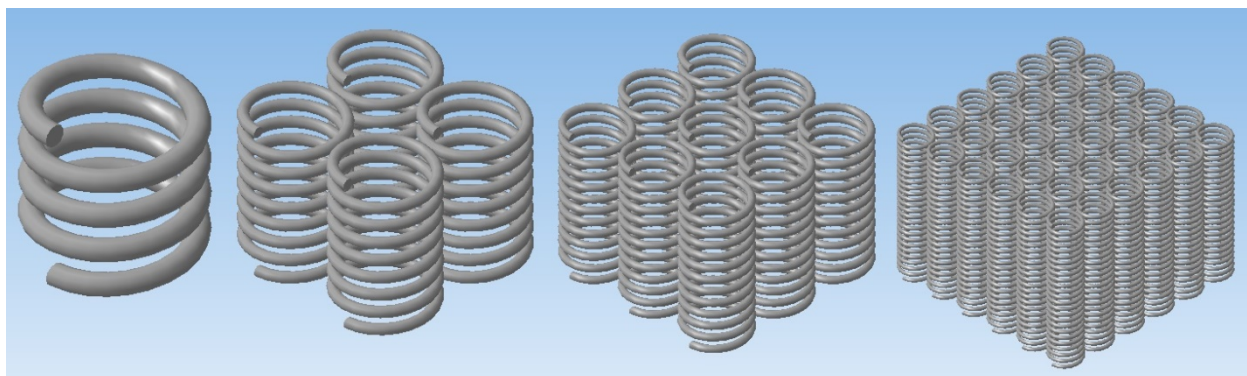


Рисунок 1 – Одинаковые по нагрузке и жёсткости опоры из разных пружин

Рассмотрим динамические свойства опор в зависимости от диаметра проволоки. В работе [3] установлено, что первая собственная частота стальной пружины закреплённой по концам равна

$$f = \frac{366}{Din}, \text{ Гц}, \quad (6)$$

где D – диаметр витка, м.

Знаменатель формулы (6) сохраняется при любом диаметре проволоки, следовательно, у всех опор первая частота одинакова. Тем не менее, модель, по которой была выведена эта формула, имеет ограничения по числу витков. При числе витков менее четырёх пружина работает как модель массы на пружине, чем усиливает передачу вибрации на основание. Последующие частоты по указанной формуле не вычисляются, поскольку пружина переходит к другой модели криволинейного бруса. Вместо кручения появляется сочетание изгиба и сдвига приводящее к резкому росту частоты за пределы диапазона судовой вибрации.

Для пружин малого диаметра формула частоты верна для первой и ряда последующих частот. Исследование собственных частот методом дискретизации показало [2], что эффективность шумоизоляции у подвески с увеличением частоты резко возрастает (рисунок 2).

Физическая картина колебаний включает развитые формы колебаний внутри пружины и блокирование усилий соседних форм. За счёт внутреннего трения энергия рассеивается, при взаимном движении участков пружины и не передается на защищаемый объект – судовой фундамент.

Использование небольших пружин согласованных с частотным диапазоном вибрации позволяет эффективно подавлять структурный шум и звуковую вибрацию на судах, что является новым направлением в области шумозащиты объектов.

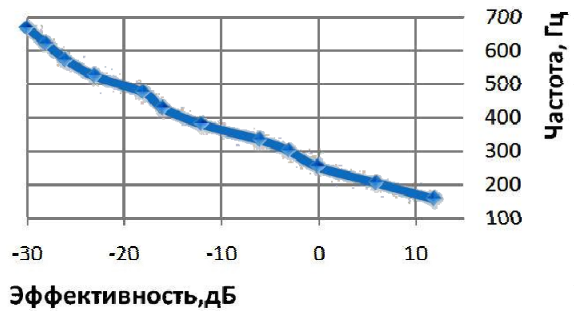


Рисунок 2 – Эффективность шумоизоляции стальных пружин

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 27242-87. Вибрация. Виброизоляторы. Общие требования к испытаниям.
 2 Щербакова, О.В. Дискретные модели динамики пружин / О.В. Щербакова, А.М. Барановский // Повышение эффективности судовой виброизоляции: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2013. -С. 9-13.
 3 Щербакова, О.В. Численное моделирование криволинейного бруса / О.В. Щербакова // Повышение эффективности судовой виброизоляции: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2013. -С. 30-37.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: винтовые пружины, грузоподъемность, жёсткость, первая собственная частота стальной пружины, пружины небольшого диаметра
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Щербакова Ольга Валерьевна, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Борисенко Юлия Владимировна, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

МОНИТОРИНГ ОБВОДНЁННОСТИ РАБОТАЮЩЕГО МОТОРНОГО МАСЛА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

С.В. Викулов

MONITORING WATERED WORKING ENGINE OIL MARINE DIESEL ENGINE
 Siberian state university of water transport
 S.V. Vikulov

The results of monitoring water content running engine oil marine diesel engines operating under conditions of Western Siberia.

Keywords: marine diesel, monitoring, running engine oil, water cut, diagnostics

Изложены результаты мониторинга обводнённости работающего моторного масла судовых дизелей, работающих в условиях Западно-Сибирского региона.

Сложная взаимосвязь процессов, происходящих в системе «двигатель внутреннего сгорания-работающее моторное масло», приводит к необходимости рассмотрения её как объекта диагностики, характеризующегося недетерминированными связями, информация о состоянии которого оказывается стохастически распределённой по контролируемым параметрам работающего моторного масла (РММ) [1, 2].

Вода имеет минимальную несущую способность смазки и агрессивна к металлам. Возрастание скорости изнашивания деталей происходит при попадании воды в работающее моторное масло (РММ) вследствие некоторых неисправностей системы охлаждения дизеля, а также конденсации паров воды в картере или продуктов сгорания топлива при низкотемпературном режиме работы дизеля [3]. Поэтому содержания воды в РММ свидетельствует о повышенном износе трущихся деталей и является диагностическим параметром состояния системы охлаждения дизеля.

В работе изложены результаты мониторинга обводнённости РММ судовых дизелей, работающих в условиях Западно-Сибирского региона. Объектом исследования являлись среднеоборотные Г70-5 (6ЧРН36/45) и высокооборотные М400, М401А-1 (12ЧСН18/20) дизели с замкнутой системой смазки. Для определения процентного содержания воды в РММ использовался прибор, входящий в комплект судовой лаборатории эксплуатационного контроля качества нефтепродуктов (СЛЭК), как наиболее простой и обеспечивающий погрешность из-

мерений, не превышающую 0,05%. Методика определения основана на использовании гидроксида кальция по ГОСТ 7822-84. Анализ содержания воды производился параллельно с определением температуры вспышки РММ. В случае присутствия воды (потрескивание масла) осуществлялось его количественное определение.

Результаты анализов содержания воды в РММ М10В2 30 дизелей Г70-5 при различных диагнозах деталей ЦПГ, полученных при эксплуатационном мониторинге в течение двух навигаций, представлены в таблице 1. В силу относительно высокой температуры масла и некоторого разряжения в картере вода, попавшая в РММ по причине нарушения герметичности системы охлаждения, может испариться [3, 4]. Поэтому содержание воды не имеет ярко выраженной закономерности. Однако, как ясно из рассмотрения данных таблицы 1, с увеличением содержания воды частота проб РММ для дефектного состояния превалирует над исправным состоянием дизеля.

Проведённый вероятностно-статистический анализ данных таблицы 1 показал, что эмпирические массивы данных соответственно: исправного $\{x/D_1\}$, дефектного $\{x/D_2\}$ и общего $\{x/D\}$ состояний дизеля наиболее хорошо аппроксимируются показательным законом распределения

$$f(x) = \lambda \cdot \exp(-\lambda x), \quad (1)$$

где λ – параметр показательного закона распределения;

$$\lambda = \frac{1}{\bar{x}}$$

\bar{x} – математическое ожидание распределения величин параметра

$$\bar{x} = \frac{\sum_{s=1}^n x_s N_s}{N}, \quad (2)$$

x_s – величина середины S-го интервала параметра;

n – число интервалов;

N_s – число измерений в интервале;

N – число измерений в рассматриваемом массиве данных.

Таблица 1 – Результаты анализа содержания воды в РММ М10В2 для различных состояний дизелей Г70-5

Величина интервала, %	Интервал	Число анализов для различных состояний дизеля		
		исправного	дефектного	общего
Отсутствие	1	89	58	147
0-0,1	2	65	40	105
0,1-0,2	3	7	9	16
0,2-0,5	4	9	10	19
0,5-1,0	5	7	17	24
Более 1,0	6	4	8	12
Сумма		181	142	323

Соответствие эмпирического распределения теоретическому показательному закону проверялось по критерию Пирсона

$$\chi^2 = \sum_{s=1}^n \frac{(N_s - NP_s)^2}{NP_s}, \quad (3)$$

где P_s – теоретическая вероятность нахождения параметра x в S-ом интервале его значений. Эту величину рассчитывали по методу численного интегрирования Симпсона

$$P_s = \frac{\Delta x_s}{6} [f(x_s)_1 + 4f(x_s)_2 + f(x_s)_3], \quad (4)$$

где Δx_s – величина интервала;

$f(x_s)_1, f(x_s)_2, f(x_s)_3$ – плотность вероятности исследуемого закона соответственно в начале, середине и в конце S-го интервала параметра x .

Характеристики \bar{x} для различных состояний дизеля составили соответственно величины 0,13%; 0,25% и 0,30%.

В соответствии с концепцией системного подхода, принятой в наших исследованиях [1, 2], были установлены допустимый и предельный нормативы содержания воды в РММ. Допустимый норматив является критерием нарушения герметичности системы охлаждения и начала процесса ухудшения смазочных свойств РММ. По предельному нормативу следует производить смену РММ, так как дальнейшая его эксплуатация приводит к прогрессивному изнашиванию трущихся деталей, омываемых маслом. По результатам обработки экспериментального материала эти величины составили соответственно $K_{доп} = 0,18\%$; $K_{пред} = 0,42\%$ при уровне надёжности $P = 0,95$. Следует отметить, что величина $K_{пред} = 0,42\%$ близка браковочному значению, равному $0,5\%$, установленному для судовых дизелей речного флота.

Результаты анализов содержания воды в РММ М16В2 25 высокооборотных дизелей 12ЧСН 18/20 при различных диагнозах деталей ЦПГ, полученных при эксплуатационном мониторинге, представлены в таблице 2.

Статистический анализ на содержание воды в пробах РММ показал (таблица 2), что обводнение масла – довольно частое явление и составляет около $20,1\%$ от общего количества проб для содержания воды $0,1$ и более процентов. Основной причиной её утечки являлось нарушение герметичности сальников насосов внутреннего контура охлаждения.

Таблица 2 – Результаты анализов на содержание воды в РММ М16В2 дизелей 12ЧСН18/20

Число проб РММ	Содержание воды, %				
	0	следы	0,1-0,2	0,2-0,5	более 0,5
214	125	46	23	5	15
100%	58,4%	21,5%	10,75%	2,34%	7%

При назначении предельного норматива по содержанию воды в РММ мы руководствовались положением информационного письма за №46 завода-изготовителя, согласно которому смену масла в дизелях 12ЧСН18/20 следует производить при наличии воды в масле выше $0,1\%$. Многолетний опыт использования этого норматива для эксплуатационной оценки состояния высокооборотных дизелей подтвердил их правомерность и высокую эффективность при обнаружении и предотвращении прогара поршней и повышенного износа цилиндровых гильз на ранней стадии их возникновения и развития [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Викулов, С.В. Диагностическая модель комплекса «дизельная СЭУ -система ТЭФ речного пароходства» / С.В. Викулов, Л.А. Шеромов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№ 2. -С. 156-160.
- 2 Викулов, С.В. Методы построения алгоритмов диагностирования элементов судовых дизелей на основе системного подхода: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С.В. Викулов; Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2014. -39 с.
- 3 Венцель, С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С.В. Венцель. -Москва: Химия, 1979. - 240 с.
- 4 Влияние обводнённости моторных масел на их эксплуатационные свойства / В.А. Сомов, Д.Г. Точильников, Ю.Л. Щепельский, Г.Ф. Бенда // Химия и технология топлив и масел. -1978. -№ 3. -С. 44-46.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовой дизель, мониторинг, работающее моторное масло, обводненность, диагностика*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Викулов Станислав Викторович, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

АЛГОРИТМ ПОИСКА ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИН ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова»
 ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

С.В. Викулов, Н.Н. Фомин

SEARCH ALGORITHM LAW DISTRIBUTED VARIABLES DIAGNOSTIC PARAMETERS MARINE DIESEL ENGINES
 Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping
 Siberian state university of water transport
 S.V. Vikulov, N.N. Fomin

The mathematical basis and calculation algorithm to find the theoretical values of the distribution of investigational diagnostic parameter.

Keywords: marine diesel, diagnostic parameter, distribution law, algorithm

Рассмотрены математическая основа и алгоритм расчёта по поиску теоретического закона распределения величин исследуемого диагностического параметра.

Вследствие конструктивных отличий дизелей, различных условий эксплуатации, наличия как абразивного, коррозионного и усталостного изнашивания деталей статистические выборки величин скоростей изнашивания основных трущихся деталей, показателей работающего моторного масла (РММ) и других диагностических параметров не подчиняются нормальному закону. Так, например, в работе [1] отмечается, что наработка дизелей М400 теплоходов «Метеор» за навигацию согласуется с гамма-распределением, а расход топлива и смазочного масла хорошо описывается нормальным законом распределения. Исследованиями [2] установлено, что концентрация продуктов износа в РММ судовых дизелей наиболее хорошо согласуется с законом гамма-распределения.

Для разработки и планирования режимов технического обслуживания и ремонта дизелей в условиях конкретного пароходства или судоходной компании на основе исследуемого метода диагностирования, полученные результаты и рекомендации должны быть в дальнейшем перенесены на полную совокупность или отдельные частные совокупности машин. Это возможно лишь после того, как будут установлены соответствующие теоретические законы распределений величин диагностических параметров, выражающие общий характер изменения этих параметров для генеральной совокупности. При этом необходимо также учитывать погрешности измерений и общие требования к точности проводимых исследований [3, 4].

В данной работе рассмотрены математическая основа и алгоритм расчёта по поиску теоретического закона распределения величин диагностического параметра, реализованный в машинной программе, написанной на алгоритмическом языке «Фортран-IV». Алгоритм расчёта легко реализовать на ПЭВМ как в программном пакете MathCAD, так и в Excel.

Наблюдаемые величины параметров в условиях обычной эксплуатации могут иметь значения, выпадающие из общего закона их распределения. Поэтому предварительно решается вопрос о целесообразности использования «выскакивающего» значения $K_{j\text{выск}}$ в общем массиве данных. Для этого подсчитывается среднее арифметическое значение для остальных измерений i -ых величин j -го параметра K

$$\bar{K}_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} K_{ji}}{N_j}, \quad (1)$$

где K_{ji} – i -ая величина j -го параметра;

N_j – число величин j -го параметра.

Далее вычисляется выборочное среднее квадратичное отклонение величин j -го параметра

$$\bar{\sigma}_{K_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (K_{ji} - \bar{K}_j)^2}{N_j - 1}}, \quad (2)$$

и определяется абсолютная величина разности $|K_{j\text{выск}} - \bar{K}_j|$. Затем при известном числе N_j и $P = 0,95$ устанавливается значение критерия Стьюдента t_p [3] и вычисляется величина доверительного интервала $t_p \cdot \bar{\sigma}_{K_j}$. Если оказалось, что

$$|K_{j\text{выск}} - \bar{K}_j| > t_p \cdot \bar{\sigma}_{K_j}, \quad (3)$$

то с вероятностью надёжности $P = 0,95$ значение $K_{j\text{выск}}$ исключается из рассматриваемого массива данных.

Количество статистических интервалов определяется по объёму информации исходного массива данных по формуле Стёрджеса (с округлением до целого числа) [3, 4]

$$H_j = \log_2 N_j + 1 = 3,332 \lg N_j + 1, \quad (4)$$

а ширина интервалов вычисляется по формуле

$$dK_{jS} = \frac{K_{j\text{max}} - K_{j\text{min}}}{H_j}, \quad (5)$$

где $K_{j\text{max}}, K_{j\text{min}}$ – соответственно максимальное и минимальное значения величин j -го параметра K откорректированного массива данных;

S – номер интервала, $S = 1, \dots, H_j$.

Для середины каждого из полученных интервалов K_{jS} подсчитываются эмпирические частоты N_{jS} (квантование данных), используемые в дальнейшем при проверке согласия эмпирического распределения с теоретическим распределением.

Аппроксимация эмпирических распределений величин диагностических параметров осуществляется последовательно пятью теоретическими законами распределений: нормальному, логарифмически нормальному, гамма, показательному и Рэлея. Теоретические плотности вероятностей этих законов подсчитываются по следующим формулам:

$$f_1(K_j) = \frac{1}{\sigma_{K_j} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(K_j - \bar{K}_j)^2}{2\sigma_{K_j}^2} \right]; \quad (6)$$

$$f_2(K_j) = \frac{1}{\beta K_j \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln K_j - \alpha)^2}{2\beta^2} \right]; \quad (7)$$

$$f_3(K_j) = \frac{\lambda^r}{\Gamma(r)} K_j^{r-1} \exp(-\lambda K_j); \quad (8)$$

$$f_4(K_j) = \frac{1}{K_j} \exp \left(-\frac{K_j}{K_j} \right); \quad (9)$$

$$f_5(K_j) = \frac{K_j}{\sigma_{K_j}^2} \exp \left(-\frac{K_j^2}{2\sigma_{K_j}^2} \right), \quad (10)$$

где \bar{K}_j – математическое ожидание распределения величин j -го параметра

$$\bar{K}_j = \frac{\sum_1^{H_j} K_{jS} N_{jS}}{N_j}; \quad (11)$$

σ_{K_j} – среднее квадратичное отклонение величин j -го параметра

$$\sigma_{K_j} = \sqrt{\frac{\sum_1^{H_j} (K_{jS} - \bar{K}_j)^2 N_{jS}}{N_j - 1}}; \quad (12)$$

α – математическое ожидание распределения логарифмов величин j -го параметра

$$\alpha = \frac{\sum_1^{H_j} N_{jS} \ln K_{jS}}{N_j}; \quad (13)$$

β – среднее квадратичное отклонение логарифмов величин j -го параметра

$$\beta = \sqrt{\frac{\sum_1^{H_j} N_{jS} (\ln K_{jS} - \alpha)^2}{N_j}}; \quad (14)$$

r – параметр формы гамма-распределения

$$r = \frac{\bar{K}_j^2}{\sigma_{K_j}^2}; \quad (15)$$

λ – параметр масштаба гамма-распределения

$$\lambda = \frac{\bar{K}_j}{\sigma_{K_j}^2}; \quad (16)$$

$\Gamma(r)$ – гамма-функция Эйлера.

Соответствие эмпирического распределения каждому из рассматриваемых теоретических законов проверяется по критерию Пирсона [3]

$$\chi^2 = \sum_{S=1}^{H_j} \frac{(N_{jS} - N_j P_{jS})^2}{N_j P_{jS}}, \quad (17)$$

где P_{jS} – теоретическая вероятность нахождения K_j параметра в S -ом интервале значений

$$P_{jS} = \int_{K_{ji}}^{K_{ji} + dK_{jS}} f(K_j) dK_{jS}. \quad (18)$$

Эта величина рассчитывается по известному методу численного интегрирования – методу Симпсона

$$P_{jS} = \frac{dK_{jS}}{6} [f(K_{jS})_1 + 4f(K_{jS})_2 + f(K_{jS})_3], \quad (19)$$

где $f(K_{jS})_1, f(K_{jS})_2, f(K_{jS})_3$ – значения плотности вероятностей исследуемых законов соответственно в начале, середине и в конце S -го интервала j -го параметра K .

Статистика (17) имеет распределение χ^2 с $k = H_j - l - 1$ степенями свободы. Здесь l – число параметров распределения (6)-(10). Задавшись уровнем значимости, например, $\alpha = 0,05$, по таблице [4] устанавливаем $\chi^2_{k,\alpha}$. Если рассчитанное значение $\chi^2 \leq \chi^2_{k,\alpha}$, то закон принимается. По наибольшей значимости численной величины этого критерия принимается тот или иной теоретический закон распределения рассматриваемого диагностического параметра.

Блок-схема программы для поиска подходящего закона распределения приведена на рисунке, в котором выделены следующие основные блоки:

- «Н» – начало;
- 1 – описание массива данных, ввод констант (t_p , χ^2 и т.д.);
- 2 – ввод первичного массива данных K_{ji} ;
- 3 – упорядочение первичного массива данных K_{ji} ;
- 4 – расчёт характеристик распределения $\bar{K}_j, \bar{\sigma}_{K_j}$ (1) и (2);
- 5 – отбрасывание «выскакивающих» значений параметра K_j (3);
- 6 – переформатирование первичного массива;
- 7 – квантование данных (4)-(5), расчёт частот N_{jS} ;
- 8 – расчёт характеристик исследуемых пяти законов (11)-(16);
- 9 – аппроксимация эмпирического распределения теоретическим законом (6)-(10);
- 10 – расчёт теоретической вероятности P_{jS} (19) и критерия χ^2 (17);
- 11 – выбор наиболее подходящего закона ($\chi^2_{\min} \leq \chi^2_{k,\alpha}$);
- 12 – вывод на печать и монитор графика и характеристик распределения;
- «К» – конец.

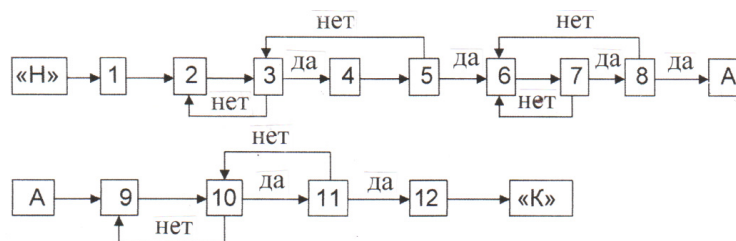


Рисунок – Блок-схема программы для поиска закона распределения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Васильев, Б.В. Диагностирование технического состояния судовых дизелей / Б.В. Васильев, Д.И. Кофман, С.Г. Эренбург. -Москва: Транспорт, 1982. -144 с.
 2 Викулов, С.В. Основы технической диагностики судовых дизелей по комплексу параметров работающего моторного масла / С.В. Викулов. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2011. -176 с.
 3 Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. -Москва: Финансы и статистика, 1981. -263 с.
 4 Хастинг, Н. Справочник по статистическим распределениям / Н. Хастинг, Д. Пинок. -Москва: Статистика, 1980. -95 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовой дизель, диагностический параметр, закон распределения, алгоритм*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Викулов Станислав Викторович, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
Фомин Николай Николаевич, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, ФБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»*
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»

Г.В. Шувалов, В.Г. Селятицкий, М.Г. Клековкина, Т.В. Васильева

THE EXPRESS ANALYSIS OF SOME PARAMETERS OF OIL PRODUCTS AT THEIR USE

Siberian research institute of metrology
 G.V. Shuvalov, V.G. Selyatitskiy, M.G. Klekovkina, T.V. Vasil'eva

Results of development of devices for the express analysis of some parameters of oil products at their use are given in article.

Keywords: oil products, express analysis, flash temperature

Приведены результаты разработки приборов для экспресс-анализа некоторых параметров нефтепродуктов при их использовании.

Качество нефтепродуктов, поступающих на суда и предприятия морского и речного флота, часто отличается от стандартного, в основном из-за нарушения условий транспортировки и хранения. Это может привести к отказу судовых дизелей и, как следствие, к возникновению технико-экономических потерь. Поэтому возникает необходимость постоянного контроля качества ГСМ при их использовании [1].

Для решения этой задачи в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии были разработаны комплектные лаборатории анализа нефтепродуктов типа «КЛАН-1», предназначенные для анализа и контроля физико-химических параметров нефтепродуктов при их использовании. Лаборатории размещаются в специально оборудованном транспортном средстве (автомобиле, морском или речном судне). На лабораторию получен патент на полезную модель №42207 «Передвижная комплектная лаборатория «КЛАН-1».

В состав лаборатории входит комплект измерительных приборов (анализаторов), которые разработаны специально для работы в условиях воздействия транспортных факторов.

В большинстве из приборов реализованы стандартные методы испытаний нефтепродуктов, за исключением экспресс-анализаторов определения механических примесей и октанового числа.

Так, для определения содержания механических примесей в анализаторе СИМ-12 использован оптический метод. Принцип действия прибора основан на регистрации рассеянного на механических примесях в составе нефтепродукта оптического излучения инфракрасного диапазона. Контролируемый нефтепродукт наливают в кювету и помещают ее в первичный преобразователь (ПП), конструкция которого приведена на рисунке 1.

Светоизлучающий диод через линзу посылает в кювету световое излучение интенсивностью J_0 инфракрасного диапазона. При этом луч света распространяется в прямом направлении и воспринимается одним фотоприемником, а образованное на механических примесях рассеянное излучение воспринимается другим фотоприемником. Выходные токи фотоприемников, пропорциональные интенсивности прямого и рассеянного света, соответственно образуют на сопротивлениях нагрузки R_{H1} напряжения

$$U_{\text{расс}} = J_{\text{расс}} S_{01} (1 + \alpha_1 \Delta T) R_{H1}, \quad (1)$$

$$U_{\text{пр}} = J_{\text{пр}} S_{02} (1 + \alpha_2 \Delta T) R_{H2}, \quad (2)$$

где S_{01}, S_{02} – спектральные чувствительности фотоприемников;

α_1, α_2 – температурные коэффициенты изменения спектральной чувствительности;

R_{H1}, R_{H2} – сопротивления нагрузки фотоприемников;

ΔT – температурный градиент.

Результат измерения получается в виде отношения сигналов рассеянного (1) и прямого (2) света в испытательной кювете, что позволяет исключить погрешность измерения, вы-

званную разностью коэффициентов поглощения света в различных видах нефтепродуктов, а также уменьшить температурные погрешности используемых фотоэлектрических приборов.

Калибровка анализатора осуществляется в процессе настройки прибора установкой коэффициента передачи каскада масштабного усилителя, а уравнивание каналов измерения прямого и рассеянного света проводится с использованием эталонного нефтепродукта.

Для определения марки дизельного топлива и измерения октановых чисел бензинов применяют анализаторы СИМ-ЗБП.

Принцип действия анализаторов основан на емкостном методе измерения диэлектрической проницаемости автомобильных бензинов, функционально зависящей от октанового числа, и передаче размера диэлектрической проницаемости от стандартных образцов дизельных топлив, аттестованных по ГОСТ 305-82, к контролируемым дизельным топливам.

Первичный преобразователь, выполненный в виде коаксиального конденсатора с цилиндрическими электродами, включен в измерительную схему с операционным усилителем. Измерительная схема построена по принципу делителя напряжения и приведена на рисунке 2.

Первичный преобразователь, представленный эквивалентной схемой, содержит конденсатор C_x , характеризующий емкость коаксиального конденсатора. Для данной схемы значение выходного напряжения определяется выражением

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} C_x / C_o \quad (3)$$

При условии $C_x = C_o$ в начальном состоянии схемы перед измерением имеем $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$. При заполнении первичного преобразователя контролируемым бензином амплитуда выходного напряжения измерительной схемы изменится пропорционально его диэлектрической проницаемости ε согласно выражению

$$U_{\text{вых}} = \varepsilon U_{\text{вх}} \quad (4)$$

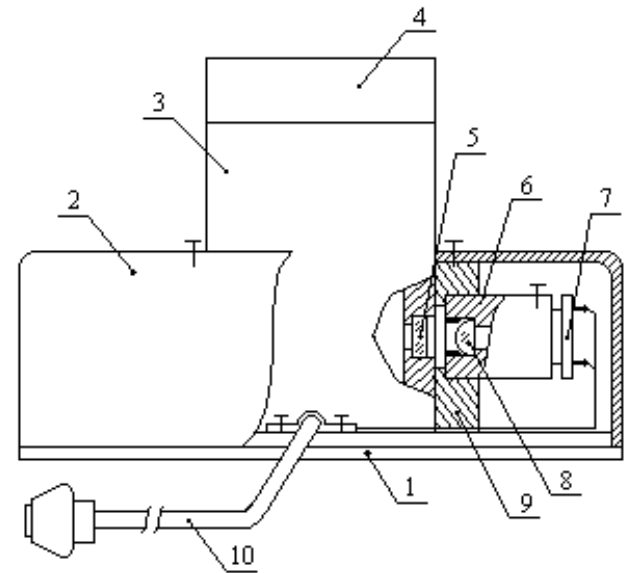


Рисунок 1 – Конструкция первичного преобразователя: 1-основание; 2-кожух; 3-кювета; 4-крышка; 5-светофильтр; 6-держатель; 7-штулка; 8-светоизлучающий диод; 9-направляющая; 10-жгут

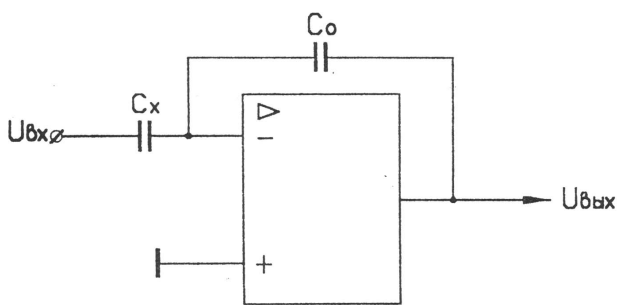


Рисунок 2 – Измерительная схема анализатора СИМ-ЗБП

Выходное напряжение измерительной схемы после детектирования и фильтрации преобразуется в цифровой сигнал и индицируется цифровым индикатором.

Внешний вид анализатора СИМ-ЗБП представлен на рисунке 3.

Первичный преобразователь выполнен в виде коаксиального конденсатора, электроды которого представляют собой два коаксиально расположенных металлических цилиндра. Во время измерения пространство между электродами заполняется контролируемым нефтепродуктом.

Одним из наиболее универсальных показателей качества нефтепродуктов является температура вспышки, которая определяет теплофизические свойства нефтепродуктов и характеризует их способность к воспламенению при нагреве.

Имеющиеся на рынке приборы по определению температуры вспышки осуществляют ее измерение в течение длительного времени (до 1,5 ч). Поэтому актуальной является задача разработки методов оперативного определения температуры вспышки нефтепродуктов. Решение этой задачи может быть связано с уменьшением объема испытуемого нефтепродукта, что позволяет уменьшить время определения температуры вспышки.

С учетом результатов проведенных исследований разработана конструкция прибора для определения температуры вспышки нефтепродуктов, (рисунок 4).

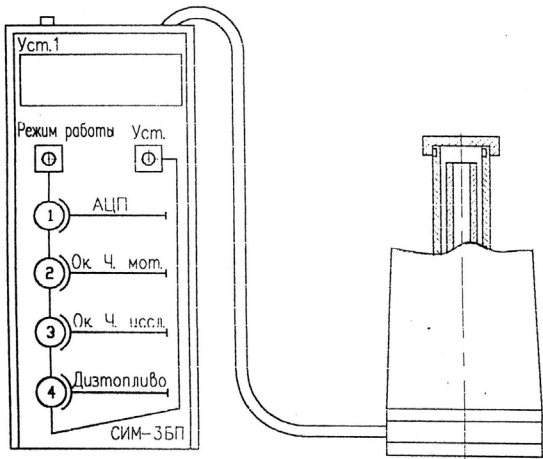


Рисунок 3 – Внешний вид анализатора СИМ-ЗБП

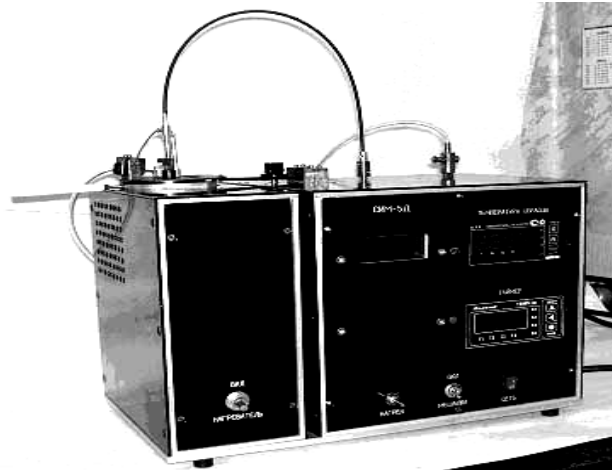


Рисунок 4 – Анализатор определения температуры вспышки нефтепродуктов СИМ-5

Таким образом, выполненные во ФГУП «СНИИМ» исследования новых электрофизических методов измерений позволили создать на их основе измерительные приборы и комплексы для экспресс-анализа некоторых параметров нефтепродуктов при их использовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шувалов, Г.В. Перспективы создания метрологического комплекса для определения параметров судовых горюче-смазочных материалов / Г.В. Шувалов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 306-309.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтепродукты, экспресс-анализ, температура вспышки
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, исполняющий обязанности директора ФГУП «СНИИМ»
 Селятицкий Владимир Георгиевич, научный сотрудник ФГУП «СНИИМ»
 Клековкина Мария Геннадьевна, инженер ФГУП «СНИИМ»
 Васильева Татьяна Владимировна, инженер ФГУП «СНИИМ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

ПЕРСПЕКТИВЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»
 Омский институт водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО
 «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Г.В. Шувалов, И.В. Клековкин, М.Г. Клековкина, О.А. Ясырова, Е.А. Абрамова

PROSPECTS OF IMPORT SUBSTITUTION OF METHODS AND MEASURING INSTRUMENTS OF SOME INDICATORS OF OIL PRODUCTS

Omsk institute of water transport (branch) Novosibirsk state academy of water transport
 Siberian research institute of metrology
 G.V. Shuvalov, I.V. Klekovkin, M.G. Klekovkina, O.A. Yasyrova, E.A. Abramova

In article the analysis of the methods and measuring instruments applied in the analysis of ship fuel on indicators the content of sulfur and temperature of flash is carried out and also possibilities of import substitution in this area are estimated.

Keywords: import substitution, flash temperature, content of sulfur

Проведен анализ методов и средств измерений, применяемых при анализе судового топлива по показателям содержание серы и температура вспышки, а также оценены возможности импортозамещения в этой области.

В Российской Федерации действует технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту», который устанавливает обязательные требования к нефтепродуктам.

Большинство методов испытаний нефтепродуктов, которые применяются для подтвер-

ждения соответствия параметров нефтепродуктов требованиям указанного технического регламента, основаны на зарубежных стандартах ISO, ASTM и EN. Соответственно, и разнообразные средства измерений для определения показателей нефтепродуктов использовались, как правило, импортные [1]. Это создавало различные трудности в использовании этих средств измерений как технического, так и экономического плана вследствие высокой стоимости оборудования, а также комплектующих и расходных изделий.

В начале 2014 года ряд западных стран объявили о введении жёстких санкций в отношении российской экономики. Это активизировало процесс импортозамещения в России, в том числе и на уровне государственной политики. Кроме того, в конце 2014 года курс рубля значительно снизился, что также создает хорошие предпосылки для импортозамещения в различных областях экономики. Это уже проявилось, во-первых, в снижении доли импорта и, во-вторых, высоких темпах роста выпуска отечественной продукции в ряде отраслей, ориентированных на внутренний рынок.

В этой связи рассмотрим основные возможности для импортозамещения методов и средств измерений, применяемых при анализе дизельного (судового) топлива по обязательным показателям технического регламента: содержание серы и температура вспышки.

Определение содержания серы в дизельном топливе проводится согласно ГОСТ Р 51947-2002 «Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии», в том числе и в случаях возникновения спорных ситуаций.

Для реализации метода ГОСТ Р 51947-2002 используют энергодисперсионные рентгеновские флуоресцентные анализаторы, если их конструкция включает следующие элементы:

- источник рентгеновского излучения с энергией выше 2,5 кэВ;
- детектор рентгеновского излучения с разрешающей способностью, не превышающей 800 эВ;
- дисплей или принтер, регистрирующий показания содержания серы в процентах.

Кроме рассмотренного метода определения содержания серы может применяться метод, изложенный в ГОСТ Р 51859-2002 «Нефтепродукты. Определение серы ламповым методом».






Этот стандарт устанавливает метод определения массовой доли общей серы от 0,01% до 0,4% в жидких нефтепродуктах и присадках.

В настоящее время выпускается значительное количество разнообразных средств измерений для определения содержания серы в нефтепродуктах, которые основаны на указанных методах и производятся как в России, так и за рубежом. Данные об отечественных и импортных средствах измерений для определения массовой доли серы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные о средствах измерений для определения массовой доли серы в нефтепродуктах

Средство измерения	Страна производитель	Внешний вид средств измерений	Массо-габаритные показатели
RX-360SH Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор, ГОСТ Р 51947	Япония Tanaka Scientific Ltd.		420×340×140 мм, 11 кг
АСЭ-2 Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор, ГОСТ Р 51947	Россия ООО «НПП «Буревестник» (С.-Петербург)		470×350×215 мм, 14 кг
Спектроскан S(SL) Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор, ГОСТ Р 51947	Россия ООО «НПО «Спектрон» (С.-Петербург)		360×380×180 мм, 8,5 кг
SLFA-20 Рентгенофлуоресцентный анализатор, ГОСТ Р 51947	Франция Horiba/Jobin-Yvon S.a.S.		250×407×138 мм, 8 кг

Продолжение таблицы

Средство измерения	Страна производитель	Внешний вид средств измерений	Массо-габаритные показатели
FX-700 Волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор, ГОСТ Р 52660	Япония Tanaka Scientific Ltd.		660×520×550 мм, 66 кг
АСВ-1 Волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор серы, ГОСТ Р 52660	Россия ООО «НПП «Буревестник» (С.-Петербург)		450×415×400 мм, 45 кг
Спектроскан SW-D3 Волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор серы, ГОСТ Р 52660	Россия ООО «НПО «Спектрон» (С.-Петербург)		530×480×340 мм, 40 кг (спектрометрический блок)
SINDIE-OTG Волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор	США X-Ray Optical Systems, Inc.		61×43×16 см, 82 кг
СИМ-6 Прибор для определения серы ламповым методом, ГОСТ 19121	Россия ФГУП «СНИИМ» (Новосибирск)		300×340×180 мм, 10 кг

Из таблицы 1 видно, что большая часть приборов для анализа содержания серы реализует рентгенофлуоресцентный метод анализа и только один прибор – ламповый метод. Кроме того, из таблицы 1 видно, что имеется достаточное количество отечественных средств измерений, в связи с чем, импортозамещение в этой области может быть осуществлено без существенных препятствий.

Определение температуры вспышки в закрытом тигле для дизельного топлива проводится по ГОСТ Р ЕН ИСО 2719-2008 «Нефтепродукты. Методы определения температуры вспышки в закрытом тигле Пенски-Мартенса», в том числе и в случаях возникновения спорных ситуаций.

Для реализации метода ГОСТ Р ЕН ИСО 2719 используют аппарат Пенски-Мартенса с закрытым тиглем. Обязательные требования к их конструкции изложены в приложении В к ГОСТ Р ЕН ИСО 2719.

Кроме рассмотренного метода определения температуры вспышки в закрытом тигле Пенски-Мартенса может применяться метод, изложенный в ГОСТ 6356-75 «Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле».

Данные об отечественных и импортных средствах измерения для определения температуры вспышки нефтепродуктов представлены в таблице 2.









Из таблицы 2 видно, что большая часть приборов реализует метод ГОСТ 6356 и только два прибора – метод ГОСТ Р ЕН ИСО 2719 – арбитражный метод. Вместе с тем это приборы отечественного производства и, кроме того, из таблицы 2 видно, что имеется достаточное количество отечественных средств измерений.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ отечественных и импортных средств измерений, применяемых при анализе дизельного (судового) топлива по обязательным показателям технического регламента: содержание серы и температура вспышки, показал, что имеется достаточное количество отечественных средств измерений, в связи с чем,

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

импортозамещение в этой области может быть осуществлено без существенных препятствий.

Таблица 2 – Данные о средствах измерений для определения температуры вспышки нефтепродуктов

Средство измерения	Страна производитель	Внешний вид средств измерений	Массо-габаритные показатели
Прибор ТВЗ (ГОСТ 6356)	Россия, ПРОМХИМ-ПРИБОР		490×220×275 мм, 10 кг
Аппарат ТВЗ-ПХП (ГОСТ 6356)	Россия, ООО «НПП «Буревестник» (С.-Петербург)		370×260×300 мм, 8 кг
ТВЗ-ЛАБ-11 Автоматический аппарат (ИСО 2719, ГОСТ 6356)	Россия ЗАО «Лабораторное Оборудование и Приборы» (С.-Петербург)		360×390×295 мм, 9 кг
ПЭ-ТВО Полуавтоматический аппарат (ГОСТ 6356)	Россия, «Экрос» (С.-Петербург)		307×255×153 мм, 5 кг
Регистратор Вспышка-А (ГОСТ 4333 и ГОСТ 6356)	Беларусь, БМЦ		300×260×180 мм, 11 кг
АТВ-21 (ГОСТ 6356, ИСО 2719)	Россия, ОАО «Нефтехим-автоматика»		310×420×435 мм, 15 кг
ISL FP 170 5G2 Автоматический (ИСО 13736)	США, Petroleum Analyzer Company (PAC)		250×50×520 мм, 20 кг
СИМ-5 (ГОСТ 6356 или ГОСТ 4333-87)	Россия ФГУП «СНИИМ» (Новосибирск)		280×160×240 мм, 6 кг

1 Сравнительный анализ средств измерений показателей нефтепродуктов, применяемых для подтверждения технического регламента / Г.В. Шувалов, В.Н. Половинкин, И.В. Клековкин, М.Г. Клековкина, О.А. Ясырова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2014. -№3. -С.119-123.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *импортозамещение, температура вспышки, содержание серы*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, исполняющий обязанности директора ФГУП «СНИИМ»*
Клековкин Иван Владимирович, заместитель начальника лаборатории ФГУП «СНИИМ»
Клековкина Мария Геннадьевна, инженер ФГУП «СНИИМ»
Ясырова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Абрамова Екатерина Александровна, аспирант ФГУП «СНИИМ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»*
644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ИЗНОШЕННОСТИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА РЕЖИМ ТРЕНИЯ И ВИДЫ ИЗНАШИВАНИЯ

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

А.В. Надежкин, М.Е. Старченко

MODELING THE INFLUENCE BETWEEN THE DEGREE OF WEAR BEARINGS IN MARINE DIESEL ENGINES AND THEIR FRICTION REGIME AND THE TYPE OF WEAR

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
 A.V. Nadezhkin, M.E. Starchenko

In this article we analyzed how the extent of the wear of plain bearing can affect their friction regime and the type of their wear. We demonstrated the conditions of appearing the scores in a bearing.

Keywords: wear, plain bearing, mathematic modeling

Приведены результаты исследования влияния степени износа подшипниковых узлов судовых дизелей на условие образования режимов трения и видов их изнашивания. Через параметр вероятности контактирования трущихся поверхностей показаны условия возникновения задира трибоузла.

В процессе эксплуатации судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) имеют место отказы из-за нарушения нормального режима функционирования трибоузла «шейка коленчатого вала-вкладыш подшипника». Причинами этих отказов зачастую являются изменения режима трения и изнашивания в трибоузле. По мере увеличения степени износа нестационарно нагруженного подшипника скольжения СДВС происходит увеличение величины радиального зазора между шейкой коленчатого вала и вкладышем подшипника (Δ). При этом меняется траектория описываемая центром коленчатого вала. От траектории движения центра вала, в свою очередь, зависит минимальная толщина масляного слоя (h_{\min}). Изменение величины h_{\min} является критерием изменения условий образования режимов трения и изнашивания трибоузла [1].

В подшипниках скольжения СДВС возможно возникновение различных режимов трения. Характеристика режима трения определяется величиной [1]

$$\lambda = h_{\min} / h_{кр} ; h_{кр} = Rz_1 + Rz_2 ,$$

где Rz_1 – шероховатость шейки коленчатого вала по Rz ;

Rz_2 – шероховатость вкладыша подшипника по Rz .

Зависимость режимов трения от значения λ приведена в таблице 1. Как следует из представленных данных, в случае если $\lambda \geq 1,5$, то имеет место гидродинамический жидкостной режим трения. Он характеризуется полным разделением трущихся поверхностей. Когда значение коэффициента λ находится в диапазоне значений $1,5 < \lambda < 1,0$, реализуется смешанный режим трения, характеризуемый началом контактного взаимодействия трущихся поверхностей. В случае, когда $\lambda < 1,0$, жидкостной режим трения нарушается и осуществляется граничный режим трения, при котором резко возрастает количество точек контактирования. Если $\lambda < 0,75$ появляются точечные очаги схватывания трущихся поверхностей, при $\lambda < 0,5$ – следует ожидать возникновения задира в подшипнике [1].

В зависимости от присутствующего в данный момент режима трения реализуются различные виды изнашивания. При гидродинамическом жидкостном трении, по причине отсутствия контакта трущихся поверхностей, преобладающим является абразивный вид изнашивания, обусловленный шаржирующим действием частиц, твердость которых больше твердости материалов вала и вкладышей подшипников [2]. Для смешанного режима трения характерно протекание абразивного и усталостного вида износа. С началом преобладания граничного режима трения основным становится усталостный вид износа, характеризующийся резким увеличением скорости изнашивания трибоузла [1].

Цель данной работы – определение режимов трения по мере увеличения Δ в подшипниках СДВС вследствие их износа, для выявления преобладающих видов изнашивания на разных стадиях эксплуатации. Эти данные необходимы для разработки имитационных моделей процессов изнашивания трибоузла «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника».

Таблица 1 – Характеристики видов смазки для нестационарно нагруженных подшипников скольжения СДВС

Вид смазки	Коэффициент трения	Свойства смазки	Значение параметра λ
Гидродинамическая	0,001...0,01	Износ от соприкосновений трущихся поверхностей отсутствует	$>1,5$
Смешанная	0,08...0,15	Упруго- и/или пластически деформируемое шероховатое, изнашиваемое, взаимодействующее с активными компонентами смазочного материала. При $\lambda = 1,0$ на каждом миллиметре ширины поверхности трения находится от 2 до 10 точек контакта	$1,5 < \lambda < 1,0$
Граничная	0,08...0,18	Упруго- и/или пластически деформируемое шероховатое, изнашиваемое, взаимодействующее с активными компонентами смазочного материала. При $\lambda = 0,5$ количество точек контакта на каждом миллиметре ширины поверхности трения возрастает до 60–150	$<1,0$

Наиболее важные положения методики математического моделирования условий трения в трибосопряжении СДВС приведены ниже.

Среднее давление, действующее на подшипник

$$\bar{P} = \frac{P}{\ell d},$$

где d – диаметр подшипника, мм;

ℓ – длина подшипника, мм;

P – сила, действующая на подшипник, Н.

Относительная толщина масляного слоя ξ – отношение минимальной толщины h_{\min} масляного слоя в точке наибольшего сближения вала и подшипника к радиальному зазору δ

$$\xi = \frac{h_{\min}}{\Delta} = \frac{2h_{\min}}{\delta} = \frac{\Delta - e}{\Delta} = 1 - \varepsilon,$$

где δ – диаметральный зазор, $\delta = 2\Delta$ мкм;

e – эксцентриситет;

ε – относительный эксцентриситет

$$\varepsilon = e/\Delta;$$

$$h_{\min} = \Delta - e, \text{ мкм.}$$

Относительная минимальная толщина ξ масляного слоя является функцией безразмерного числа Зоммерфельда S_0 и отношения длины подшипника к диаметру ℓ/d

$$S_0 = \frac{\eta \omega}{P \psi^2},$$

где η – динамическая вязкость масла, Па·с;

ω – угловая скорость, рад/с;

ψ – относительный зазор

$$\psi = \delta/d.$$

Зная величину S_0 , можно найти значение ξ для данного отношения l/d и определить минимальную толщину масляного слоя и выражения

$$h_{\min} = \Delta\xi = 0,5\xi\delta = 0,5 \cdot 10^3 \xi d\psi.$$

Моделирование осуществлялось для одного из наиболее распространенного на флоте Дальневосточного бассейна дизеля фирмы Вяртсиля модели 624TS. Предварительный анализ выявил, что наиболее нагруженным является 5-рамовый подшипник [3]. Имитировалась его работа при величине износа равной 0, 50, 75 и 100%. Износ задавали величиной радиального зазора.

Результаты, полученные в ходе моделирования, представлены в качестве зависимости изменения h_{\min} от угла поворота коленчатого вала на рисунке 1.

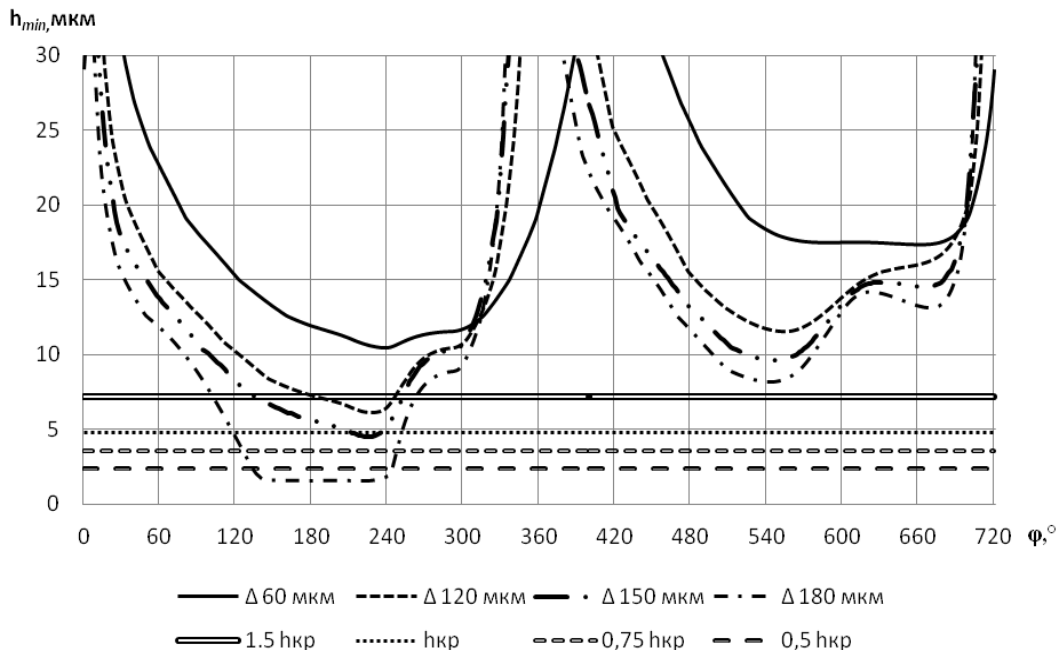


Рисунок 1 – Изменение минимальной толщины масляного слоя в процессе работы 5-рамового подшипника, увеличенное

Результаты моделирования наиболее нагруженного рамового подшипника (рисунок 1), наглядно показывают изменения условий протекания режимов трения в трибоузле в зависимости от степени его изношенности. По мере увеличения износа до 50% от предельного, которому соответствует радиальный $\Delta = 120$ мкм, режим трения в подшипнике от гидродинамического жидкостного на участке от 180 до 240 °ПКВ переходит к смешанному. При 75% степени изношенности, $\Delta = 150$ мкм, для участка от 190 до 240 °ПКВ начинается преобладание граничного режима трения. По мере дальнейшего увеличения степени износа, зона граничного трения возрастает до 120 °ПКВ.

Режимы трения, как отмечалось выше, определяют преобладающий вид износа. При достижении зоной граничной смазки некоторой предельной величины протяженности, происходит увеличение температуры места контакта поверхностей. Это приводит к дезориентации молекул масла в граничном слое и их десорбции. В результате – потеря смазочным слоем способности предотвращать образование адгезионных мостиков сварки, что приводит к задиру трибоузла [1].

Оценить вероятность возникновения задира можно по величине продолжительности времени наличия граничной смазки в трибоузле ($\lambda < 1$). Для этой цели используется параметр вероятности контактирования трущихся поверхностей ζ , который показывает, какой процент времени от двойного хода поршня приходится на режим граничной смазки [1, 4]. Для данного критерия существует предельное значение, превышение которого может привести к возникновению задира [1, 4].

Зависимость изменения величины ζ от степени изношенности 5-рамового подшипника

двигателя 624TS представлена на рисунке 2. Из расчетных данных следует, что по мере изнашивания данного трибоузла можно выделить три характерные зоны. Первая соответствует нормальным условиям эксплуатации и сопровождается абразивным изнашиванием ($\zeta \leq 0\%$). В зоне, где $\zeta = 0-10\%$ работа подшипника уже сопровождается образованием точечных очагов адгезионных мостиков сварки, а при $\zeta > 15\%$ имеет место зона возникновения задира.

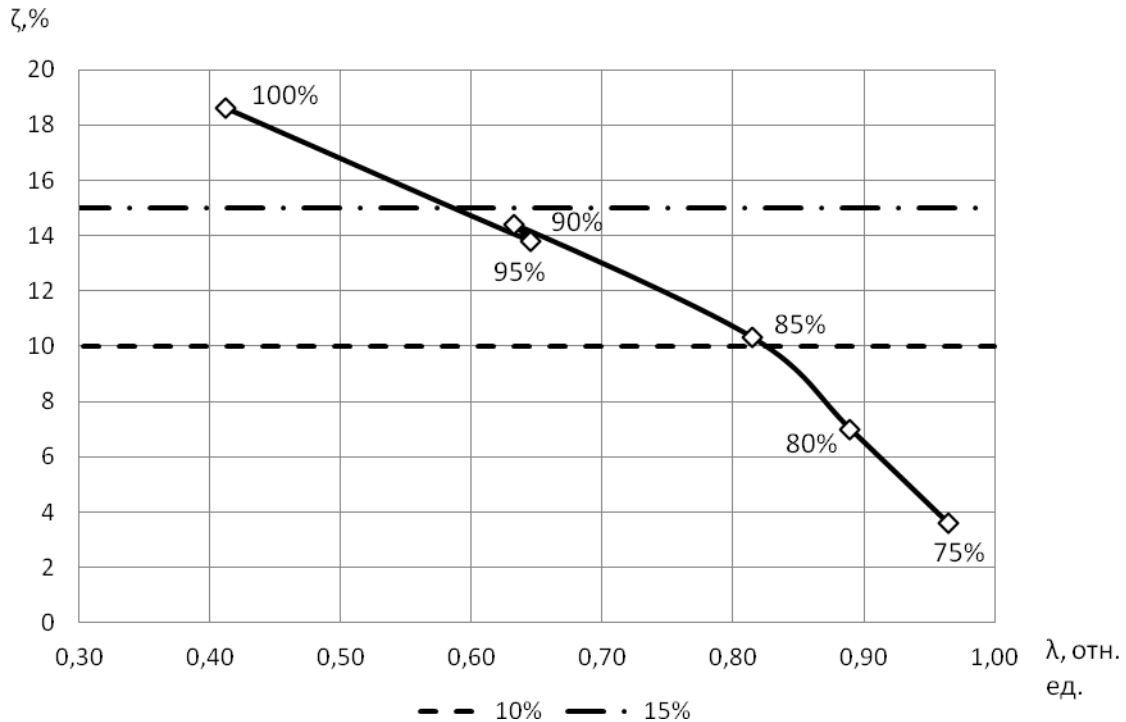


Рисунок 2 - График вероятности возникновения задира в 5-рамовом подшипнике для различных степеней его изношенности

Из графика видно, что при износе вкладыша подшипника более 85% от величины предельного значения установочного зазора начинается интенсивное изнашивание трибоузла. Когда величина Δ достигает предельного значения (100% износ вкладыша), то с большой долей вероятности следует ожидать задира 5-рамового подшипника двигателя 624TS.

Выводы:

– В процессе эксплуатации в подшипниках скольжения СДВС реализуются различные режимы трения. Длительное время преобладающим является гидродинамический жидкостной режим трения. Однако для некоторых трущихся сопряжений достигаются условия, в результате которых возникают реальные предпосылки для возникновения задира трибоузла «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника».

– При построении имитационной модели изнашивания подшипниковых узлов СДВС следует учитывать индивидуальные особенности каждого трибоузла «шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника», так как h_{min} зависит от режимов нагружения и степени их изношенности, а следовательно, в них реализуются различные механизмы изнашивания.

– В процессе выполненного математического моделирования выявлено, что для дизеля 624TS узлами трения, определяющими ресурс работы деталей кривошипно-шатунного механизма, являются 1-, 3- и 5-рамовые подшипники. Их состояние следует наиболее тщательно контролировать в процессе эксплуатации. Рекомендуется для этих узлов трения в качестве предельного значения величины радиального зазора установить значение равное 85% от номинального.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Юерлинер, Э.Д. Браун. - Москва: Машиностроение, 2003. -576 с.
 2 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. - Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-та, 2011. -372 с.
 3 Старченко, М.Е. Имитационное моделирование смазочного процесса подшипников коленчатого вала судовых дизелей

в эксплуатации / М.Е. Старченко // Материалы 62 международной научно-практической конференции «Молодежь -Наука - Инновации», 19 нояб. 2014 г. / Мор. гос. ун-т. -Владивосток, 2014.

4 Денисов, А.С. Теоретический анализ смазочного процесса подшипников коленчатого вала на переходных режимах работы / А.С. Денисов, Р.И. Альмеев // Вестн. СГТУ. -2011. -С. 132-141.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: износ, подшипники скольжения, математическое моделирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Надежкин Андрей Вениаминович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Старченко Михаил Евгеньевич, 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»

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ ЧАСТИЦ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

**ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»
ФБУН Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»
Омский институт водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО
«Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

Г.В. Шувалов, В.М. Генералов, О.А. Ясырова, Е.А. Абрамова

TECHNIQUE OF DETERMINATION OF ELECTRIC POLARIZABILITY OF PARTICLES OF WATER FUEL EMULSIONS

Omsk institute of water transport (branch) Novosibirsk state academy of water transport

State research center of virology and biotechnology VECTOR

Siberian research institute of metrology

G.V. Shuvalov, V.M. Generalov, O.A. Yasyrova, E.A. Abramova

In article the technique of determination of electric polarizability of the polarized particles of water fuel emulsions is offered.

Keywords: polarizability of a particle, water fuel emulsions

Предложена методика определения электрической поляризуемости поляризующихся частиц водотопливных эмульсий.

Одним из эффективных способов экономии топлива является применение водотопливных эмульсий (ВТЭ), использование которых не требует переделок двигателя, не вызывает необходимости изменения технологии подготовки топлива и не нуждается в больших капиталовложениях.

Под водотопливной эмульсией понимается специально приготовленная равномерная смесь мелко диспергированной пресной воды с очищенным топливом. Размеры частиц воды в такой эмульсии находятся в пределах 1-10 мкм. Чем качественнее ВТЭ, тем она устойчивее и тем медленнее разделяется на топливо и воду. Одной из причин, способствующей образованию устойчивых топливных эмульсий, является присутствие в топливах смолистых веществ, нафтеновых кислот и их мыл. Образованные ими защитные пленки препятствуют слиянию отдельных капель воды в более крупные, и, тем самым, предотвращают разрушение эмульсии и выделение капель воды из топлива.

Кроме этого, важнейшим фактором устойчивости ВТЭ является электрический заряд, образуемый на поверхности частиц водотопливной эмульсии. Способность частиц к образованию стойкого электрического заряда характеризуется величиной электрической поляризуемости частиц.

В этой связи разработка методов оценки стабильности водотопливных эмульсий, в том числе по величине электрической поляризуемости частиц является актуальной.

Предлагается измерение коэффициента поляризуемости частиц осуществлять на специальной установке путем определения скорости частиц при ее поступательном движении в неоднородном переменном электрическом поле (НПЭП) при известных параметрах электрического поля в измерительной ячейке. В предлагаемой установке определение скорости частиц при ее поступательном движении осуществляется путем оптической регистрации траектории частицы в неоднородном переменном электрическом поле.

Метод предназначен для измерения величины объемной поляризуемости α_v частиц в диэлектрических жидкостях.

В вакууме в неоднородном электрическом поле на единицу объема диэлектрика (не имеющего свободного электрического заряда) действует сила [1]

$$\vec{F}_{эл} = \frac{\varepsilon_0 \chi}{2} \vec{\nabla} E^2, \quad (1)$$

где χ – диэлектрическая восприимчивость частицы;
 ε_0 – диэлектрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;
 E – напряженность электрического поля в вакууме.

В случае сферической частицы радиуса r эта сила определяется из выражения

$$\vec{F}_{эл} = \frac{\varepsilon_0}{2} \chi \frac{4\pi r^3}{3} \vec{\nabla} E^2. \quad (2)$$

Если обозначить величину $\chi \frac{4\pi r^3}{3}$ как объемную поляризуемость α_χ частицы, то для силы можно записать выражение

$$\vec{F}_{эл} = \frac{\varepsilon_0}{2} \alpha_\chi \vec{\nabla} E^2. \quad (3)$$

В среде, которая по своим диэлектрическим свойствам отличается от вакуума, на частицу в НПЭП будет действовать сила [2]

$$\vec{F}_{эл} = 2\pi \varepsilon_{cp} \varepsilon_0 r^3 \left[\frac{\varepsilon_\chi - \varepsilon_{cp}}{\varepsilon_\chi + 2\varepsilon_{cp}} \right] \vec{\nabla} E^2, \quad (4)$$

где ε_χ – относительная диэлектрическая проницаемость частицы;

ε_{cp} – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

$\vec{\nabla} E^2$ – градиент квадрата напряженности электрического поля в среде.

В уравнении (4) величину $4\pi \varepsilon_{cp} \varepsilon_0 r^3 \frac{\varepsilon_\chi - \varepsilon_{cp}}{\varepsilon_\chi + 2\varepsilon_{cp}}$ обозначим через α_χ -объемную поляризуемость частицы в диэлектрической жидкости, и тогда величина силы, действующей на частицу в жидкости будет равна

$$\vec{F}_{эл} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \alpha_\chi \vec{\nabla} E^2. \quad (5)$$

С другой стороны на частицу, движущуюся в вязкой среде со скоростью v_χ , действует сила Стокса

$$\vec{F}_{cm} = 6\pi \eta_{cp} \vec{v}_\chi r_\chi. \quad (6)$$

Из решения равенства $\vec{F}_{cm} = \vec{F}_{эл}$

$$\frac{1}{2} \varepsilon_0 \alpha_\chi \vec{\nabla} E^2 = 6\pi \eta_{cp} \vec{v}_\chi r_\chi. \quad (7)$$

находится искомая величина объемной поляризуемости частицы в жидкости

$$\alpha_\chi = \frac{12\pi \eta_{cp} r_\chi \vec{v}_\chi \vec{\nabla} E^2}{\varepsilon_0 \vec{\nabla} E^2 \vec{\nabla} E^2}. \quad (8)$$

В соответствии с уравнением (8) для определения поляризуемости α_χ частицы в выражение следует подставить величины: r_χ -радиус частицы, м; ε_0 -диэлектрическая постоянная, Ф/м; η_{cp} -вязкость среды, Па·с (определяется экспериментально); \vec{v}_χ -скорость поступательного движения частицы в НПЭП по пути ее движения, м/с; $\vec{\nabla} E^2$ -градиент квадрата напряженности электрического поля между электродами в измерительной ячейке.

В состав установки для измерения величины поляризуемости частиц входят следующие основные элементы [3]:

- измерительная ячейка;
- генератор напряжения;
- частотомер;
- вольтметр переменного тока;
- микроскоп с видеокамерой;
- компьютер с монитором.

Основой установки для измерения величины поляризуемости частиц является измерительная ячейка. К электродам измерительной ячейки подключаются проводники от генератора гармонического напряжения.

Для наблюдения за поведением частиц в измерительной ячейке при воздействии напряжения используется микроскоп.

На рисунке приведен внешний вид установки на основе микроскопа Olympus CX41RF и видеокамеры EE5100M и фотографии биологических частиц в измерительной ячейке микроскопа.

Таким образом, предложена методика определения электрической поляризуемости частиц водотопливных эмульсий и установка для ее реализации. Дальнейшее развитие методики может быть направлено на проведение экспериментальных исследований различных водотопливных эмульсий, которые могут быть положены в основу оценки устойчивости водотопливной эмульсии по величине поляризуемости. Это важно при создании и разработке способов стабилизации ВТЭ.

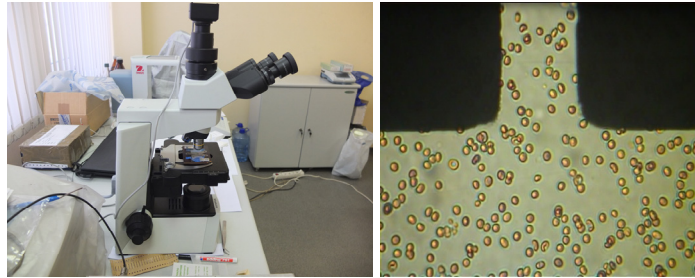


Рисунок – Установка для измерения электрической поляризуемости частиц и частицы в измерительной ячейке

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Яворский, Б.М. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. -Москва: Наука, 1974. -942 с.
 2 Разработка метода определения диэлектрических характеристик поляризующихся частиц водотопливных эмульсий / Г.В. Шувалов, В.Ф. Матвейчук, Ю.А. Гапонов, В.М. Генералов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 211-213.
 3 Автоматизированная установка измерения вязкоупругих характеристик эритроцитов / В.М. Генералов, Т.С. Бакиров, А.В. Пак, И.Л. Звольский, Б.Н. Зайцев, М.В. Кручинина, А.В. Дурьманов, С.А. Курилович, А.Н. Сергеев // Наукоем. технологии. - 2008. -Т.9, №12. -С. 28-33.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поляризуемость частицы, водотопливные эмульсии
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, исполняющий обязанности директора ФГУП «СНИИМ»
 Генералов Владимир Михайлович, докт. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»
 Ясырова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»
 Абрамова Екатерина Александровна, аспирант ФГУП «СНИИМ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»
 630559, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п.Кольцово, ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»
 644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

АНАЛИЗ ПРИЧИН, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE RELIABILITY OF HYDRAULIC ANTIVIBRATION SUPPORTS OF A NEW TYPE
 Siberian state university of water transport
 P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva

The article analyzes the causes of influencing the level of reliability of hydraulic anti-vibration supports. The influence of structure, properties, and conditions of work in the process of rupture and, consequently, on the reliability of hydraulic anti-vibration supports of a new type is huge.

Keywords: vibration insulation of ship power installations

Проанализированы причины, оказывающие влияние на уровень надежности гидравлических виброизолирующих опор. Установлено, что влияние особенностей конструкции, ее свойств, материалов и условий работы на процесс разрушения элементов, а, следовательно, на надежность гидравлических виброизолирующих опор нового типа огромно.

Проведем анализ причин, влияющих на надежность гидравлических виброизолирующих опор нового типа (ПВО и ЭГВО) [1]. Их общим и важнейшим элементом является гидравлическая составляющая.

В работающей гидравлической виброизолирующей опоре нового типа, гидравлический поршень, и вся буферная полость, подвержены действию различных сил, достигающих иногда значительной величины. Понятно, что гидравлический поршень постоянно находится в состоянии поступательного движения. Тогда, согласно правилу Даламбера, все силы, действующие на него, должны быть уравновешены, что требует специальных мероприятий, существенно влияющих на конструкцию опоры. Силы, действующие на гидравлический поршень, разделяются: на массовые – сила тяжести и сила инерции, поверхностные – взаимодействие поверхности гидравлического поршня с потоком жидкости и реакции в месте крепления поршня к центральному штоку.

Сила тяжести поршня приложена в его центре тяжести. При заполнении опоры жидкостью вес поршня разгружается за счет гидростатических давлений по поверхности поршня, равнодействующая которых по закону Архимеда равна весу вытесненной поршнем жидкости, направлена вертикально вверх и приложена также к центру тяжести объема гидравлического поршня.

Силы инерции гидравлического поршня не совпадают с осью центрального штока, а это приводит к появлению дополнительных реакций в центральном штоке и гидравлическом поршне. Теоретически гидравлический поршень строго симметричен относительно оси штока, центр тяжести его лежит на этой оси, главная ось инерции совпадает с осью штока, и, следовательно, момент инерции равен нулю. Таким образом, в точно выполненном гидравлическом поршне все силы инерции приводятся к нулю. В действительности ось расточки может не совпадать с положением центра тяжести, а направление ее может составлять некоторый угол с главной осью инерции. Нормальные к оси гидравлического поршня поперечные силы возникают при нарушении осевой симметрии потока вне поршня. При уменьшении или увеличении подачи жидкости поле давлений и скоростей по выходному сечению гидравлического поршня перестает быть осесимметричным. На рисунке 1 приведена типичная полярная эпюра давления по окружности гидравлического поршня в процентах от полного напора.

Конструкция гидравлической виброизолирующей опоры нового типа должна обеспечивать надежность ее работы при всех значениях подачи жидкости – от нулевой до наибольшей, предусмотренной эксплуатацией. Поэтому прогибы штока под действием возникающей поперечной силы не должны превосходить величины зазоров в уплотнениях. Центральный шток в этих условиях должен быть не только прочным, но и достаточно жестким, что необходимо учитывать при разработке конструкции.

Еще одним возмущающим воздействием, значительно влияющим на надежность гидравлической виброизолирующей опоры нового типа, являются пульсации рабочей жидкости. В работе [2] отмечается, что колебания давления в опоре возникают при появлении скрытой кавитации и могут усилиться при появлении обратных токов на неоптимальных режимах работы. Эти колебания отражают нестационарные процессы как внутри гидравлической виброизолирующей опоры, так и в системе опоры – внешняя сеть.

Определенную роль в возникновении пульсации давления играет также наличие вращающихся вихревых следов за гидравлическим поршнем. При работе виброизолирующей опоры на режимах с подачей меньшей, чем расчетная, часть сечения заполнена потоком обратного направления, который двигается от гидравлического поршня к входу в опору. Пульсации давления связаны с периодическими выбросами обратных токов во всасывающий патрубок. Если при отсутствии пульсации давления обратные токи из опоры устойчивы и исчезают только на оптимальных режимах, то при наличии пульсации происходит периодическое выбрасывание этих токов с периферии опоры, в то время как основной поток остается без изменения. Это дает основание предположить, что источником этих явлений являются процессы, имеющие место при обтекании гидравлического поршня обратным потоком [2].

Необходимо отметить, что обратные токи образуют кольцевой вихрь, охватывающий

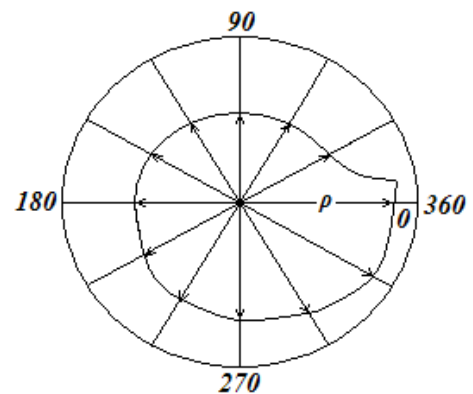


Рисунок 1 – Полярная эпюра давления по окружности гидравлического поршня в процентах от полного напора

всю плоскость гидравлического поршня. Форма входной кромки, дросселирующих отверстий гидравлического поршня и углы на входе существенно влияют на амплитуду пульсации давления. На рисунках 2 - 4 приведены напорные и кавитационные характеристики гидравлического поршня опоры, а также кривые зависимости относительной амплитуды пульсации давления на нагнетании \bar{e} от относительной подачи \bar{Q} .

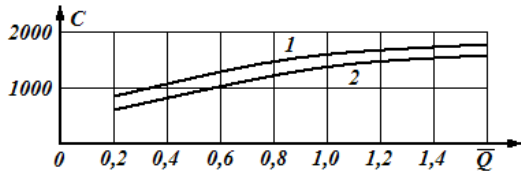


Рисунок 2 – Зависимость кавитационного коэффициента быстроходности C от относительной подачи жидкости \bar{Q} (1-ПВО, 2-ЭГВО)

Сравнивая приведенные характеристики опор, можно заметить, что при аналогичных напорных и кавитационных характеристиках ПВО имеет несколько большие амплитуды пульсации давления в зоне малых расходов. Это можно объяснить более гибким фактором управления работой ЭГВО [3].

Совместное воздействие противотоков, пульсаций и кавитации рабочей жидкости, вибрация судовой энергетической установки, а также качество сборки гидравлической виброизолирующей опоры нового типа определяют уровень ее вибрации.

Исследования [2-4] показали, что источником вибрации самой гидравлической виброизолирующей опоры являются нестационарные гидродинамические силы на гидравлическом поршне, возникающие при обтекании его нестационарным потоком, выходящим из гидравлической полости, и статические пульсации давления в проточной части опоры, возникающие в момент работы судового двигателя.

Амплитуда пульсаций давления может составлять до 40% от статического напора. Статические пульсации давления в проточной части опоры могут вызывать вынужденные изгибные колебания корпуса опоры различных форм в зависимости от жесткости в разных плоскостях. При этом возрастает величина усилия, воздействующего на гидравлический поршень, а значит, снижается надежность всей виброизолирующей системы.

Для ЭГВО характерна высокая доля отказов электрической изоляции, которые вызваны, прежде всего, ее термическим старением, а также периодическим нагревом – охлаждением.

При нагреве в процессе работы ЭГВО уменьшается удельное электрическое сопротивление изоляции, что объясняется тепловой диссоциацией молекул, а при неполной полимеризации пропитывающих лаков и наличии жидкой фазы – также и понижением ее вязкости, то есть процесс снижения удельного электрического сопротивления, зависит от характера электропроводности изоляционного материала.

При термическом старении изоляции происходят следующие процессы: чисто термическое разложение; термоокислительная деструкция, причем, вторая обычно играет более существенную роль.

Характер их протекания зависит от состава полимера: происходит деполимеризация, образование более низкомолекулярных веществ, отрыв атомов водорода и образование свободных радикалов, дехлорирование, отщепление карбоксильных групп, окисление органических групп, структурирование неорганической части молекул и ЭГВО т.д. [3]. Многие из этих процессов сопровождаются отгонкой веществ, то есть выделением метана, оксида и двуоксида углерода, формальдегида, воды, углеводородов и т.п. Изменение химического состава и структуры изоляции сопровождается изменением их молекулярной массы, плотности, прочности, температуры плавления, электрофизических характеристик; изоляция

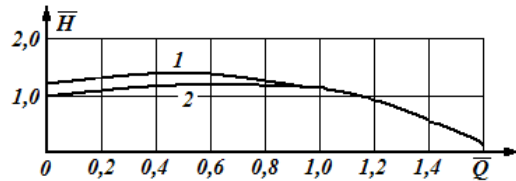


Рисунок 3 – Зависимость относительного напора \bar{H} от относительной подачи жидкости \bar{Q} (1-ПВО, 2-ЭГВО)

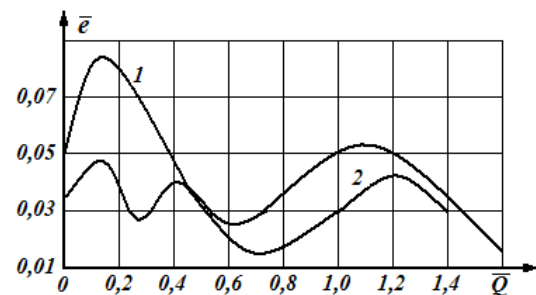


Рисунок 4 – Зависимость относительной амплитуды пульсации давления \bar{e} от относительной подачи жидкости \bar{Q} (1-ПВО, 2-ЭГВО)

растрескивается, становится хрупкой. Понятно, что методику определения показателей надежности ЭГВО необходимо разрабатывать с учетом термодинамического и механического старения изоляции электромагнитных катушек.

Таким образом, установлено, что влияние особенностей конструкции, ее свойств, материалов и условий работы на процесс разрушения элементов, а, следовательно, на надежность гидравлических виброизолирующих опор нового типа огромно. Такие явления как кавитация, пульсация давления, коррозия, термическое старение изоляции, вибрация СЭУ значительно снижают надежность гидравлических виброизолирующих опор нового типа и, следовательно, должны учитываться при проектировании и моделировании опор. Кроме того, нагрузки на элементы гидравлических виброизолирующих опор нового типа на различных режимах изменяются со значительной амплитудой. Величины амплитуд этих нагрузок определяются возмущающими воздействиями, возникающими в опоре. Значение величин амплитуд определяют уровень надежности системы виброизоляции в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Фомичев, П.А. Виброизолирующие гидравлические опоры нового поколения / с.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. -190 с.
- 2 Фомичева, Е.В. Выбор рабочей жидкости, оптимальной для гидравлических виброизолирующих опор нового типа / Е.В. Фомичева // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2007. -№1. -С.34-37.
- 3 Фомичев, П.А. Расчет динамических параметров электромагнитной составляющей электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева // Реч. трансп. -2006. -№2. -С. 41-44.
- 4 Фомичев, П.А. Критерий качества параметрической оптимизации виброизолирующих опор / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№ 2. -С. 167-169.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *виброизоляция судовых энергетических установок*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИХРЕВЫХ ТРУБ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА

**ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
ФГБОУ ВПО Военный учебно-научный центр Сухопутных войск
«Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации»**

В.С. Кукис, Д.В. Шабалин

PHYSICO-MATHEMATICAL MODEL OF VORTEX TUBES FOR THE REGULATION OF TEMPERATURE OF CHARGE AIR
South Ural state university (national research university)
Military training and scientific center of Land forces «Combined arms academy of the armed forces of the Russian Federation»
V.S. Kukis, D.V. Shabalin

Proposed physical-mathematical model of vortex tubes intended for charge-air temperature control in internal combustion piston engines.

Keywords: physical-mathematical model, charging air, internal combustion engine

Предложена физико-математическая модель вихревых труб, предназначенных для регулирования температуры наддувочного воздуха в поршневых двигателях внутреннего сгорания.

Наддув, как средство повышения мощности и экономичности силовых установок мобильного транспорта при всех имеющихся достоинствах имеет и ряд недостатков. Прежде всего, это широкий диапазон изменения температуры свежего заряда воздуха, связанный как с режимом работы двигателя, так и с параметрами окружающей среды. Современные исследователи сходятся во мнении о необходимости стабилизации температуры свежего заряда воздуха в определенных пределах [1, 2]. Широко применяемое в настоящее время охлаждение наддувочного воздуха (НВ), которое было предложено еще Р. Дизелем, не является достаточно эффективным решением проблемы обеспечения стабильности температурных параметров воздухообеспечения.

Для решения задачи регулирования температуры НВ предлагается использовать вихревой эффект. Устройства на основе вихревого эффекта – вихревые трубы (ВТ) – позволя-

ют получать как охлажденный, так и нагретый воздух на основе одного и того же физического эффекта [3].

Для проектирования и оптимизации параметров вихревого охладителя НВ целесообразно использовать физико-математическое моделирование.

Цель настоящей работы заключалась в разработке высокоадекватной физико-математической модели воздушной ВТ, позволяющей «из первых принципов» рассчитать показатели эффективности трубы на основе заданных геометрических параметров, а также давления и температуры воздуха на входе.

В настоящей работе для достижения цели этой используется метод динамики частиц [4-7]. Указанный метод позволяет с высокой степенью адекватности перенести в модель физические свойства воздушной среды, с высокой степенью детализации представить геометрию ВТ, а также получить исчерпывающую информацию о распределениях температуры и скорости в рабочей области устройства. Метод динамики частиц заключается в разбиении воздушной среды на большое количество (порядка 10^4) однотипных элементов воздуха шарообразной формы. Каждый элемент обладает основными физическими свойствами воздуха (плотность, модуль упругости, коэффициент внутреннего трения и др.), и способен двигаться в пространстве как отдельное тело по законам классической динамики. При контакте элементов между собой или с рабочими поверхностями ВТ возникают силы, приводящие как к механическому ускорению элементов (и соответственно изменению их траектории движения), так и повышению давления внутри элемента, приводящему к изменению температуры и объема элемента. Силовое взаимодействие принято упруго-вязким: упругие составляющие сил приводят к отталкиванию элементов друг от друга, вязкие - к внутреннему трению в воздушной среде. В указанных предположениях уравнения движения элементов воздуха составляются на основе второго закона Ньютона:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\text{э}} \frac{d^2 x_i}{dt^2} = \begin{cases} c_{\text{п}} \left(\frac{d_{\text{э}}}{2} - r_{i-\text{п}} \right) \frac{(x_i - x_{i-\text{п}})}{r_{i-\text{п}}} + k_{\text{п}} \left(r_{i-\text{п}} - \frac{d_{\text{э}}}{2} \right) v_{xi}, r_{i-\text{п}} < \frac{d_{\text{э}}}{2}; \\ 0, r_{i-\text{п}} \geq \frac{d_{\text{э}}}{2}; \\ + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\text{э}}} \left\{ c(d_{\text{э}} - r_{ij}) \frac{(x_i - x_j)}{r_{ij}} + k_{\text{в}} (r_{ij} - d_{\text{э}}) (v_{xi} - v_{xj}), r_{ij} < d_{\text{э}}; \right. \\ \left. 0, r_{ij} \geq d_{\text{э}}; \right. \end{cases} \\ \\ m_{\text{э}} \frac{d^2 y_i}{dt^2} = \begin{cases} c_{\text{п}} \left(\frac{d_{\text{э}}}{2} - r_{i-\text{п}} \right) \frac{(y_i - y_{i-\text{п}})}{r_{i-\text{п}}} + k_{\text{п}} \left(r_{i-\text{п}} - \frac{d_{\text{э}}}{2} \right) v_{yi}, r_{i-\text{п}} < \frac{d_{\text{э}}}{2}; \\ 0, r_{i-\text{п}} \geq \frac{d_{\text{э}}}{2}; \\ + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\text{э}}} \left\{ c(d_{\text{э}} - r_{ij}) \frac{(y_i - y_j)}{r_{ij}} + k_{\text{в}} (r_{ij} - d_{\text{э}}) (v_{yi} - v_{yj}), r_{ij} < d_{\text{э}}; \right. \\ \left. 0, r_{ij} \geq d_{\text{э}}; \right. \end{cases} \\ \\ m_{\text{э}} \frac{d^2 z_i}{dt^2} = \begin{cases} c_{\text{п}} \left(\frac{d_{\text{э}}}{2} - r_{i-\text{п}} \right) \frac{(z_i - z_{i-\text{п}})}{r_{i-\text{п}}} + k_{\text{п}} \left(r_{i-\text{п}} - \frac{d_{\text{э}}}{2} \right) v_{zi}, r_{i-\text{п}} < \frac{d_{\text{э}}}{2}; \\ 0, r_{i-\text{п}} \geq \frac{d_{\text{э}}}{2}; \\ + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\text{э}}} \left\{ c(d_{\text{э}} - r_{ij}) \frac{(z_i - z_j)}{r_{ij}} + k_{\text{в}} (r_{ij} - d_{\text{э}}) (v_{zi} - v_{zj}), r_{ij} < d_{\text{э}}; \right. \\ \left. 0, r_{ij} \geq d_{\text{э}}; \right. \end{cases} - m_{\text{э}} g, \end{array} \right. \quad (1)$$

где i – номер элемента;

$m_{\text{э}}, d_{\text{э}}$ – масса и диаметр i -го элемента;

x_i, y_i, z_i – декартовы координаты центра элемента;

t – время;

$c_{\text{п}}, k_{\text{п}}$ – коэффициенты жесткости и вязкости взаимодействия элементов с рабочей поверхностью вихревой трубы;

- N_3 – количество элементов;
- j – номер элемента, возможно контактирующего с i -м элементом;
- c, k_g – коэффициенты жесткости и вязкости взаимодействия элементов между собой;
- r_{i-p} – расстояние от центра i -го элемента до рабочей поверхности;
- $x_{i-p}, y_{i-p}, z_{i-p}$ – декартовы координаты точки касания элемента рабочей поверхности;
- r_{ij} – расстояние между центрами элементов i и j ;
- v_{xi}, v_{yi}, v_{zi} – декартовы составляющие скорости i -го элемента;
- g – ускорение свободного падения.

Расстояние r_{ij} между центрами элементов рассчитывается на каждом шаге интегрирования через координаты центров по теореме Пифагора: $r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$. Расчет $r_{i-p}, x_{i-p}, y_{i-p}, z_{i-p}$ производится на основе аналитических выражений, задающих форму исследуемого фрагмента вихревой трубы (рисунок 1).

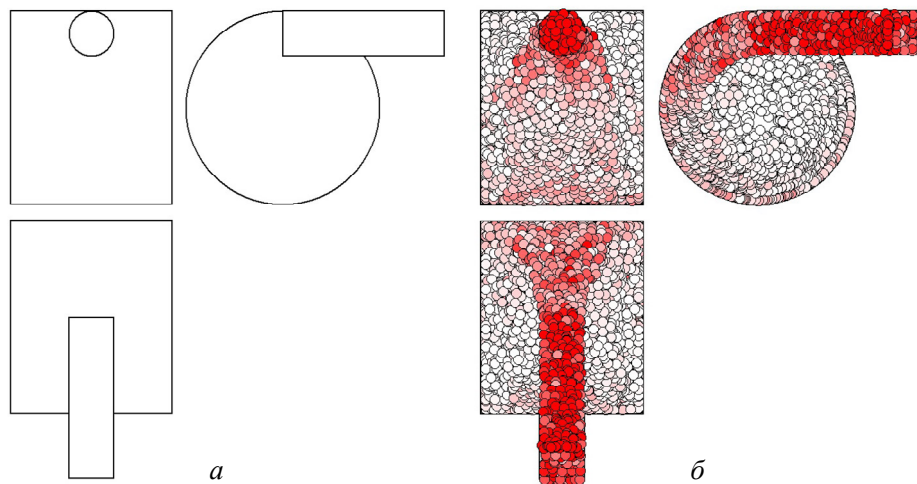


Рисунок 1 – Вихревая труба в модели (три проекции): а)-представление фрагмента вихревой трубы в модели в виде двух цилиндров; б)-результат моделирования – движение элементов воздуха в вихревой трубе, уровень красного цвета элемента пропорционален давлению воздуха

Уравнения (1) представляют собой дифференциальные уравнения второго порядка и решаются в процессе моделирования численным методом - методом Рунге-Кутты второго порядка [6]

$$\begin{aligned} x_i^{\tau+1} &= x_i^\tau + v_{xi}^\tau \Delta t + a_{xi}^\tau (\Delta t)^2 / 2; \quad v_{xi}^{\tau+1} = v_{xi}^\tau + a_{xi}^\tau \Delta t; \\ y_i^{\tau+1} &= y_i^\tau + v_{yi}^\tau \Delta t + a_{yi}^\tau (\Delta t)^2 / 2; \quad v_{yi}^{\tau+1} = v_{yi}^\tau + a_{yi}^\tau \Delta t; \\ z_i^{\tau+1} &= z_i^\tau + v_{zi}^\tau \Delta t + a_{zi}^\tau (\Delta t)^2 / 2; \quad v_{zi}^{\tau+1} = v_{zi}^\tau + a_{zi}^\tau \Delta t, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\tau, \tau+1$ – индексы текущего и следующего временного шага;
 Δt – шаг интегрирования по времени;

$x_i, y_i, z_i; v_{xi}, v_{yi}, v_{zi}; a_{xi}, a_{yi}, a_{zi}$ – положение, скорость, ускорение элемента.

Связь между объемом, давлением и температурой внутри элемента воздуха задается уравнением состояния идеального газа. В текущей модификации модели объем всех элементов считается постоянным, поэтому температура считается прямо пропорциональной внешнему давлению на элемент. На каждом шаге интегрирования τ производится расчет давления на элемент

$$P_i^\tau = \frac{\sum_{j=1}^{N_3} |\vec{F}_{ij}|}{k_\phi \cdot \pi \cdot d_3^2}, \quad (3)$$

где k_ϕ – коэффициент формы для учета несплошности заполнения пространства шарообразными элементами.

По известному давлению воздуха в элементе производится расчет температуры

$$T_i^\tau = \frac{\nu R_g}{1/6\pi d_s^3} P_i^\tau, \quad (4)$$

где ν – количество вещества в элементе;
 R_g – универсальная газовая постоянная.

В модели производится моделирование теплообмена между элементами: на основе уравнения теплопроводности в конечных разностях на сетке, узлами которой являются центры элементов. На каждом шаге интегрирования τ производится проверка: если элементы контактируют (расстояние r_{ij} меньше диаметра d_s), то в модели производится передача тепла от одного элемента к другому и рассчитывается новое значение температуры элемента по следующей итерационной формуле

$$T_i^{\tau+1} = T_i^\tau + \chi \frac{T_j^\tau - T_i^\tau}{r_{ij}} \Delta t, \quad (5)$$

где χ – коэффициент теплопроводности воздуха.

Наиболее важной выходной характеристикой модели является пространственное распределение температуры $T(x, y, z)$

$$T(x, y, z) = \frac{1}{[t_y / \Delta t]_{\tau=[(t-t_y)/\Delta t]}} \sum_{\tau=[(t-t_y)/\Delta t]}^{[t/\Delta t]} \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \begin{cases} T_i^\tau, & \sqrt{(x-x_i^\tau)^2 + (y-y_i^\tau)^2 + (z-z_i^\tau)^2} \leq r_y; \\ 0, & \sqrt{(x-x_i^\tau)^2 + (y-y_i^\tau)^2 + (z-z_i^\tau)^2} > r_y \end{cases}}{\sum_{i=1}^{N_g} \begin{cases} 1, & \sqrt{(x-x_i^\tau)^2 + (y-y_i^\tau)^2 + (z-z_i^\tau)^2} \leq r_y; \\ 0, & \sqrt{(x-x_i^\tau)^2 + (y-y_i^\tau)^2 + (z-z_i^\tau)^2} > r_y \end{cases}}, \quad (6)$$

где r_y, t_y – радиус усреднения по пространству, временной интервал усреднения по времени соответственно;

t – текущий момент времени;

$[t / \Delta t]$ – операция выделения целой части числа.

Так, максимальную температуру приобретает воздух непосредственно вблизи окна входной трубы, когда режим движения воздуха резко изменяется с прямолинейного на окружный (рисунок 2б, диапазон углов 0-90°). По мере дальнейшего движения по окружности воздух обменивается теплотой с центральными областями и постепенно охлаждается. В осевом направлении наиболее всего эффект разделения температур выражен также вблизи окна входной трубы и плавно уменьшается по мере удаления от окна (рисунок 2в).

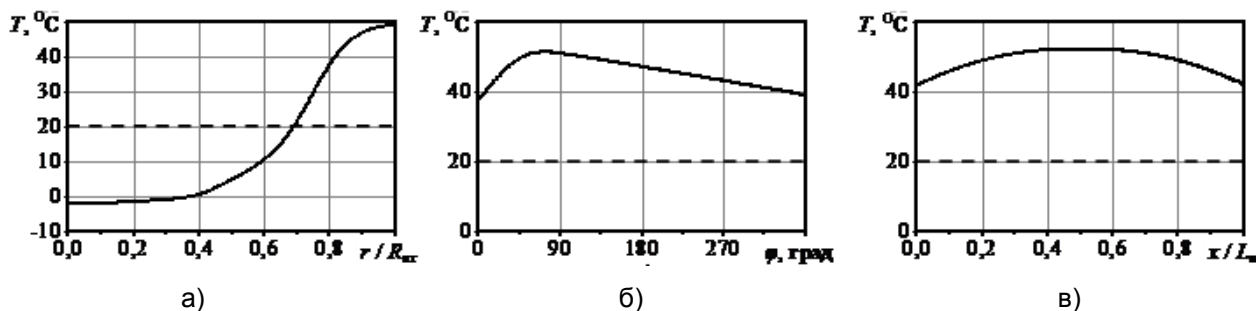


Рисунок 2 – Распределение температуры в модельной вихревой трубе: а)-радиальное (r – расстояние от оси трубы; $R_{ВТ}$ – радиус вихревой трубы); б)-оcircужное вблизи цилиндрической поверхности (φ – угол относительно оси вихревой трубы, отсчитываемый от окна входной трубы); в)-в продольном направлении (x – координата вдоль оси трубы; $L_{ВТ}$ – длина вихревой трубы)

Таким образом, разработана физико-математическая модель ВТ для системы регулирования температуры НВ, а также компьютерная программа для проведения вычислительных экспериментов. Модель и программа позволяют определить оптимальные геометрические параметры ВТ, а также давление воздуха на входе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кукис, В.С. Повышение эффективности наддува за счет стабилизации температуры воздуха, поступающего в цилиндры

дизеля, работающего на переменных режимах / В.С. Кукис, Г.А. Берестнев // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования / Акад. наук о земле. -Москва, 2005. -С. 111-113.

2 Повышение эффективности поршневых тепловых двигателей за счет использования вихревых труб / В.С. Кукис [и др.] // Материалы за VIII международна научна практична конференция, «Научният потенциал на света -2012», (17-25 септ. 2012 г.), София «БялГРАД-БГ». -2012. -Т. 17. -С. 23-37.

3 Меркулов, А.П. Вихревой эффект и его применение в технике / А.П. Меркулов. -Самара: Оптима, 1997. -184 с.

4 Hoover, W.G. Atomistic Nonequilibrium Computer Simulations / W.G. Hoover // Physica A. -1983. -Vol. 118. -P. 111-122.

5 Monaghan, J. Smoothed Particle Hydrodynamics / J. Monaghan // Annu. Rev. Astron. Astrophys. -1992. -Vol. 30. -P. 543-574.

6 Allen, M.P. Computer Simulation of Liquids / M.P. Allen, D.J. Tildesley. -Oxford: Clarendon Press, 1987. -408 p.

7 Гулд, Х. Компьютерное моделирование в физике / Х. Гулд, Я. Тобочник. -Москва: Мир, 1990. -Ч. 2. -400 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: физико-математическая модель, наддувочный воздух, двигатель внутреннего сгорания

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кукис Владимир Самойлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ЮУГУ НИ»

Шабалин Денис Викторович, канд. техн. наук, докторант ВУНЦ СВ «ОБА ВС РФ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 454080, г.Челябинск, пр.Ленина, 76, ФГБОУ ВПО «ЮУГУ НИ»

119121, г.Москва, проезд Девичьего поля, 4, ВУНЦ СВ «ОБА ВС РФ»

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАССЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ В ВЫХЛОПНОМ КОЛЛЕКТОРЕ ДИЗЕЛЯ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.Г. Николаев, О.Г. Куделин

THE ANALYTICAL INVESTIGATION OF THE MOVEMENT OF THE EXHAUSTED GAS MASSES WITHIN THE EXHAUST DIESEL COLLECTOR

Siberian state university of water transport

A.G. Nikolaev, O.G. Kudelin

By means of hypothetical parameters the mathematical model of the movement of one impulse of final gases is constructed. The comparative analysis of calculations has showed that at the identical sizes of pipes the time necessary for repayment of the movement of a portion of gas decreases simultaneously with the increase of its average speed. The found effect can be used when designing eco-friendly exhaust pipes.

Keywords: mathematical model, portion of gases, analysis of calculations, designing of eco-friendly exhaust pipes

С помощью гипотетических параметров построена математическая модель движения одного импульса выпускных газов. Сравнительный анализ расчётов показал, что при одинаковых размерах труб время необходимое для погашения движения порции газа, убывает по мере возрастания его средней скорости. Обнаруженный эффект может быть использован при конструировании экологических выхлопных труб.

Известно, что в процессе работы тепловых двигателей, через выхлопной коллектор в окружающую среду выбрасываются загрязняющие вещества, в том числе и сажа [1]. В связи с этим, с экологической точки зрения, выхлопные трубы необходимо периодически очищать. В качестве механизма очистки выхлопной трубы от сажи может быть механизм «Глушитель шума выхлопа» [2].

В настоящей работе предполагается разработка математической модели движения потока отработавших газов в глушителе шума выхлопа. Введём некоторые допущения при движении одного импульса (порции) движения выпускных газов: движение порции отработавших газов в выхлопной трубе длиной L стационарно; порция отработавших газов однородна и имеет плотность ρ и вязкость ν ; движение отработавших газов происходят по выхлопной трубе цилиндрической формы; поток газов на входе в выхлопную трубу имеет начальную постоянную скорость W_0 ; в конце выхлопной трубы скорость импульса газа

$w = w(x)$ и её производная по направлению $\frac{dw(x)}{dx}$ становятся пренебрежимо малыми; движение отработавших газов рассматривается только в одном направлении, поэтому

$\forall x \in [0, L]$, разность давлений в трубе $p(x) - p_a \geq 0$, $p(L) = p_a$, где p_a - атмосферное давление.

С учётом введённых допущений, уравнения Навье-Стокса [3] преобразуются к одному дифференциальному уравнению

$$\nu \frac{d^2 w(x)}{dx^2} - \frac{1}{\rho} \frac{dp(x)}{dx} = 0, \tag{1}$$

где $w(x), p(x)$ – соответственно скорость и давление потока вдоль оси симметрии выхлоп-

ной трубы в проекции на ось OX (ось системы координат OX совпадает с началом выхлопной трубы).

Из уравнения (1) следует

$$\frac{d}{dx} \left[\rho v \frac{dw(x)}{dx} - p(x) \right] = 0,$$

откуда

$$\rho v \frac{dw(x)}{dx} - p(x) = C, \forall x \in [0, L].$$

В силу допущения $\frac{dw(L)}{dx} = 0$ и $p(L) = p_a$, имеем, что $\rho v \cdot 0 - p_a = C$, то есть $C = -p_a$, и тогда получим

$$\rho v \frac{dw(x)}{dx} - p(x) = -p_a; \forall x \in [0, L] \quad (2)$$

Для определения $w = w(x)$, необходимо знать $p = p(x)$, а также плотность ρ и вязкость ν потока газа, что уже само по себе представляет неразрешимую задачу. В этой связи, в данной статье предпринята попытка удовлетворить уравнению (2) путём замены указанных физических характеристик потока некоторыми гипотетическими параметрами. С их помощью авторы надеются найти аналитическое решение уравнения (2), результативность которого с качественной стороны позволило бы удовлетворить всем требованиям движения одного импульса выпускных газов в выхлопной трубе.

Авторы предполагают, что связь между физическими $p(x), p_a, \rho, \nu$ и гипотетическими параметрами q, μ, α должна быть следующей

$$\frac{p(x) - p_0}{\rho v w(x)} = -q \left\{ \ln[\mu(x + \alpha)] + \frac{x}{x + \alpha} \right\}; \frac{p(x) - p_0}{\rho v w(x)} \geq 0; -q \ln(\alpha \mu) = l^2. \quad (3)$$

И тогда имеем

$$\rho v \frac{dw(x)}{dx} = -q \rho v \left\{ \ln[\mu(x + \alpha)] + \frac{x}{x + \alpha} \right\} w(x). \quad (4)$$

Общим решением уравнения (4) является

$$w(x) = C_1 [\mu(x + \alpha)]^{-qx}.$$

В силу начального условия $\lim_{x \rightarrow 0} w(x) = W_0$ или $C_1 \lim_{x \rightarrow 0} [\mu(x + \alpha)]^{-qx} = W_0$, с учётом того, что $\lim_{x \rightarrow 0} [\mu(x + \alpha)]^{-qx} = 1$, получаем $C_1 = W_0$. Таким образом,

$$w(x) = W_0 [\mu(x + \alpha)]^{-qx}. \quad (5)$$

На рисунках 1а и 1б приводятся зависимости изменений скоростей порции газа, рассчитанных по формуле (5) при $w_0 = 2$ м/с, $\alpha = 0,01$ и значениях параметров:

- для рисунка 1а: $q = 1,5$, кривая 1 при $\mu = 1,2$; кривая 2 при $\mu = 1,0$; кривая 3 при $\mu = 0,8$;
- для рисунка 1б: $\mu = 1,0$, кривая 1 при $q = 1,5$; кривая 2 при $q = 1,0$; кривая 3 при $q = 0,5$.

Анализ рисунка 1 показывает приемлемое согласование зависимостей между собой с учётом принятых допущений, а именно: скорость потока вдоль трубы сначала увеличивается, благодаря высокому импульсу выхлопных газов, а затем падает по мере движения по трубе; динамика изменения положения максимумов определяется введёнными параметрами для уравнения (3).

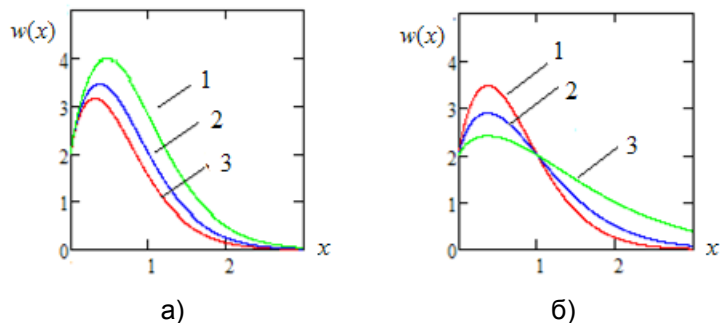


Рисунок 1 – Изменение скорости газа вдоль трубы

Таким образом, наложенные выше на процесс гипотетические условия не приводят к противоречию с принятыми допущениями.

Значения параметров q, μ, α подлежат экспериментальному определению, но при этом

есть возможность теоретического определения их значений. С этой целью составим следующую систему уравнений и неравенств

$$L = \overline{w(x)} t_0; \overline{w(x)} = \frac{W_0}{L} \int_0^L [\mu(x + \alpha)]^{-qx} dx; \quad (6)$$

$$\frac{dw(x_0)}{dx} = 0; \quad (7)$$

$$w(x_0) = RW_0; \quad (8)$$

$$w(L) = W_0 [\mu(L + \alpha)]^{-qL} \leq \delta_0; \quad (9)$$

$$\left| \frac{dw(L)}{dx} \right| \leq q \left| \ln[\mu(L + \alpha)] + \frac{L}{L + \alpha} \right| \delta_0; \quad (10)$$

$$0 \leq \frac{p(x) - p_0}{\rho v w(x)} < -\frac{q \ln(\alpha \mu)}{\rho v} = \frac{l^2}{\rho v}; \delta_0 > 0, \quad (11)$$

- где t_0 – время, необходимое для прохождения импульсом отработавших газов, (поток) участка трубы $[0, L]$ со средней скоростью $\overline{w(x)}$;
- δ_0 – заданное малое значение скорости импульса в конце трубы;
- R – эмпирический коэффициент, значение которого зависит от конструктивных особенностей горловины выхлопной трубы, определяющих максимальный уровень подъёма скорости потока в точке $x_0 \in (0, L)$;
- l – число, которое является ограничителем отношения перепада давления к скорости потока; соотношения (9), (10) соответствуют критерию остановки газа в конце трубы [4].

Решение системы уравнений (6÷11) приводит к вычислению интеграла

$$\int_0^L [\mu(x + \alpha)]^{-qx} dx = \left\{ \begin{array}{l} u = \mu(x + \alpha); x = \frac{u}{\mu} - \alpha \Rightarrow dx = \frac{du}{\mu}; \\ x = 0 \Rightarrow u_1 = \mu\alpha; x = L \Rightarrow u_2 = \mu(L + \alpha); \\ -qx = -q\left(\frac{u}{\mu} - \alpha\right) = -\frac{q}{\mu}u + q\alpha \end{array} \right\} = \quad (12)$$

$$= \frac{1}{\mu} \int_{u_1}^{u_2} u^{p u + \alpha} du = \left\{ \begin{array}{l} p = -\frac{q}{\mu} \\ \alpha \Leftrightarrow \alpha = q\alpha \end{array} \right\} = \frac{1}{\mu} l,$$

где
$$l = \int_{u_1}^{u_2} u^{p u + \alpha} du. \quad (13)$$

Интеграл (13) не выражается через элементарные функции, однако с помощью метода, приводимого в работе [5], получаем

$$l = \int_{u_1}^{u_2} u^{p u + \alpha} du = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{p^k}{k!} \int_{u_1}^{u_2} u^{k + \alpha} \ln^k u du =$$

$$= u_2^{\alpha+1} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \left(\frac{p u_2}{k + \alpha + 1} \right)^k \sum_{s=0}^k \frac{(-1)^s \ln^s(u_2) (k + \alpha + 1)^{s-1}}{s!} -$$

$$- u_1^{\alpha+1} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \left(\frac{p \cdot u_1}{k + \alpha + 1} \right)^k \sum_{s=0}^k \frac{(-1)^s \ln^s(u_1) (k + \alpha + 1)^{s-1}}{s!}. \quad (14)$$

Вычислительную эффективность этого ряда можно оценить путём сравнения сходимости его частичных сумм с результатами применения метода Симпсона [6] к интегралу (13).

Результаты по методу Симпсона приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты по методу Симпсона

l по (13)	Значение	Параметры
l_1	1,08485162	$u_1 = 0,5; u_2 = 3,0; p = -2,5; \alpha = 0,5$
l_2	0,85927390	$u_1 = 0,7; u_2 = 3,2; p = -2,0; \alpha = 1,0$

Сходимость суммы ряда с увеличением числа их членов N демонстрируется в таблице 2.

Таблица 2 – Таблица сходимости суммы ряда

N	10	20	28	33
I_1	41,88616530	1,11528693	1,08485457	1,08485162
N	10	15	25	33
I_2	28,34595972	-0,09396154	0,85925556	0,85927390

С учётом (14) система уравнений и неравенств (6)-(11) является замкнутой и, соответственно, пригодна для разрешения. Гипотетические значения параметров q, μ, α , а так же величины L, t_0, x_0 , при значениях параметров: $W_0 = 5, I^2 = 4,5$ и $R = 2, 3, 4, 5$ сведены в таблицу 3.

Зависимость скорости $w(x)$ потока порции отработавших газов вдоль оси симметрии выхлопной трубы в соответствии с проведенными расчётами представлена на рисунке 2.

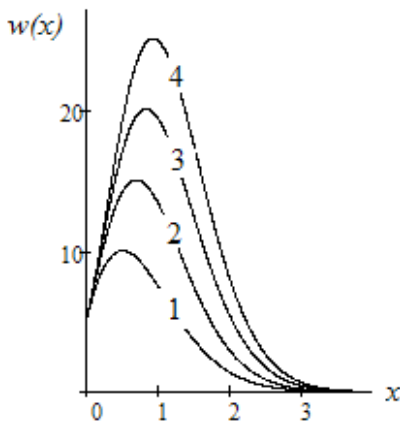


Рисунок 2 – Изменение скорости выхлопных газов вдоль трубы

Таблица 3 – Результаты вычисления определяемых параметров

$R = 2,0$	$\begin{cases} q = 1,599; \mu = 0,720; \alpha = 0,083; \\ L = 6,886 \text{ м}; t_0 = 3,593 \text{ с}; x_0 = 0,504 \text{ м} \end{cases}$	$\overline{w(x)} = 1,919 \text{ м/с}$
$R = 3,0$	$\begin{cases} q = 2,121; \mu = 0,510; \alpha = 0,234 \\ L = 6,902 \text{ м}; t_0 = 2,254 \text{ с}; x_0 = 0,693 \text{ м} \end{cases}$	$\overline{w(x)} = 3,071 \text{ м/с}$
$R = 4,0$	$\begin{cases} q = 2,418; \mu = 0,416; \alpha = 0,373; \\ L = 6,905 \text{ м}; t_0 = 1,601 \text{ с}; x_0 = 0,830 \text{ м} \end{cases}$	$\overline{w(x)} = 4,328 \text{ м/с}$
$R = 5,0$	$\begin{cases} q = 2,739; \mu = 0,363; \alpha = 0,532; \\ L = 6,975 \text{ м}; t_0 = 1,281 \text{ с}; x_0 = 0,925 \text{ м} \end{cases}$	$\overline{w(x)} = 5,475 \text{ м/с}$

Из рисунка 2 видно, что при трубах длиной 3,0-3,5 м поток импульса выхлопных газов практически угасает, что соответствует реальным размерам выхлопной трубы для двигателей внутреннего сгорания [7]. Расчёты проводились при достаточно высокой точности 10-8, поэтому длины труб оказались увеличенными по сравнению с данными [7] и составили около 7 м с незначительным разбросом результатов (менее 1,35%). Это обстоятельство позволило провести сравнительный анализ представленных расчётов, который показал, что при одинаковых размерах труб время, необходимое для погашения движения порции газа, убывает по мере возрастания средней скорости $\overline{w(x)}$. Обнаруженный эффект может быть использован при конструировании выхлопных труб, в которых качественно осуществляется очистка внутреннего пространства от сажи, тем самым решаются вопросы экологии окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени: пер. с англ. / ред. Н.А. Чигир. -Москва: Машиностроение, 1981. -407 с.
 2 Пат. 2479729 Российская Федерация. Глушитель шума выхлопа / Куделин О.Г., Миронова Н.А., Николаев А.Г. -Опубл. 20.04.2013.
 3 Кочин, Н.Е. Теоретическая гидродинамика / Н.Е. Кочин, И.А. Кибель, Н.В. Розе. -Москва: Наука, 1963. -Ч. 2. -727с.
 4 Гольдштик, М.А. Вихревые потоки / М.А. Гольдштик. -Москва: Наука, 1981. -366 с.
 5 Куделин, О.Г. Вычисление определенных интегралов с помощью двойных сумм в аналитическом виде / О.Г. Куделин, Е.В. Смирнова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№2. -С. 176-179.
 6 Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г.М. Фихтенгольц. -Москва: Физматлит, 1962. -Т. 2. -807 с.
 7 Повышение долговечности судовых дизелей / В.А. Сомов, Ю.Л. Шепельский, Б.С. Агеев, В.В. Чурсин. -Москва: Транспорт, 1983. -211 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическая модель, порция газов, анализ расчетов, конструирование экологических выхлопных труб

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Николаев Анатолий Геннадьевич, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Куделин Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИВОДОВ МАШИН С ЧЕРВЯЧНЫМИ ПЕРЕДАЧАМИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.Н. Анферов, А.В. Кузьмин

SOME FEATURES OF DESIGN OF DRIVES MACHINES WITH WORM GEAR
Siberian state transport university
V.N. Anferov, A.V. Kuzmin

Reviewed the design effect of the self-braking worm gear. The dependencies for the assessment of the presence or absence of self-braking Archimedean worm gear.

Keywords: drive, design, worm-gear, self-braking, gearing, coefficient of friction

Рассмотрены вопросы проектирования самотормозящих червячных передач. Предложены зависимости для оценки наличия или отсутствия самоторможения архимедовой червячной передачи.

Редукторные заводы в России в настоящее время ежегодно изготавливают около 460 тыс. червячных редукторов общего назначения. Дополнительно к указанному количеству промышленность выпускает свыше 50 тыс. специальных червячных редукторов и несколько десятков тысяч червячных передач [1]. Эти данные свидетельствуют о постоянном спросе на червячные редукторы и червячные передачи.

Червячные передачи и редукторы на их основе обладают рядом уникальных свойств и достоинств, к числу которых относятся: возможность передачи вращательного движения с изменением частоты вращения между валами, оси которых перекрещиваются; плавность хода и бесшумность работы; возможность исключения обратного хода (самоторможение) и др. [2]. Область применения червячных передач может быть расширена путем совершенствования методик их проектирования. К числу вопросов, требующих детального рассмотрения, относится проектирование приводов машин с самотормозящими червячными передачами.

Для анализа явления самоторможения архимедовой червячной передачи определим математическую функциональную зависимость КПД η_c червячной передачи в тяговом режиме обратного хода от делительного угла γ подъема витка червяка.

1 Модель червячной передачи в тяговом режиме обратного хода. Разрез червячного зацепления вдоль оси червяка можно представить как передачу «шестерня-рейка» с трапецидальным профилем зуба рейки, соответствующим сечению витка червяка вдоль его оси, и сопряженным эвольвентным профилем зуба шестерни. Ведущим звеном в данной модели в режиме обратного хода будет шестерня – аналог червячного колеса, а ведомым звеном – рейка – аналог червяка. Графическое изображение такой модели показано на рисунке 1. Область контакта сопряженных поверхностей здесь сведена к условной точке P , принимаемой за полюс червячного зацепления.

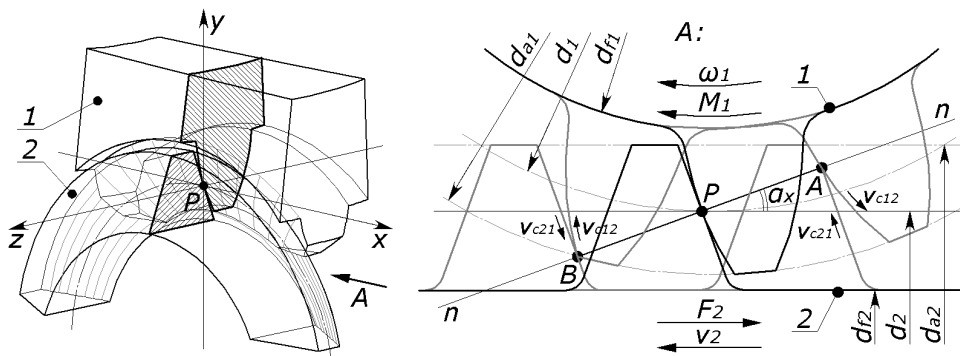


Рисунок 1 – Сечение червячного зацепления вдоль оси червяка (ведущее колесо): 1-червячное колесо; 2-червяк

Зацепление зубьев шестерни и рейки начинается в точке A на линии зацепления nn и заканчивается в точке B . Направление взаимного скольжения зуба по витку на дополусном

отрезке AP показано стрелкой v_{c12} , витка по зубу – стрелкой v_{c21} ; на послеполюсном отрезке PB эти направления меняются на противоположные. В самом полюсе зацепления P контактирующие поверхности перекатываются друг по другу без проскальзывания. В результате наличия скольжения в зацеплении действительный вектор реакции R_{21} с стороны витка червяка на зуб колеса на доплюсном отрезке поворачивается относительно линии nn против часовой стрелки на угол трения φ , на послеполюсном отрезке – на тот же угол, только по часовой стрелке, как показано на рисунке 2.

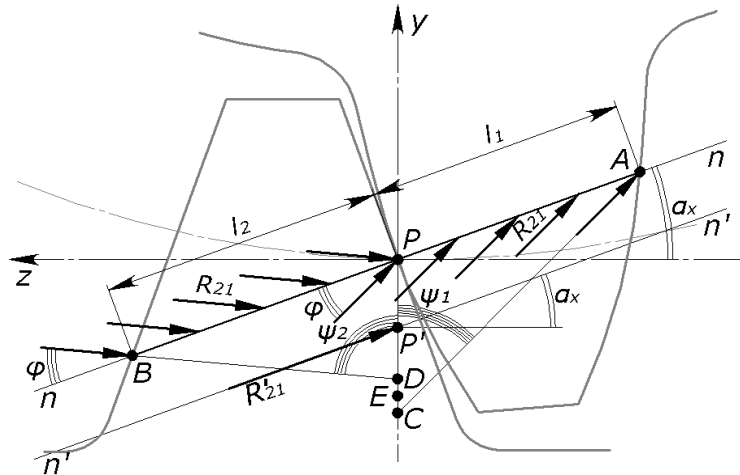


Рисунок 2 – Отклонение реакции R_{21} от линии зацепления nn (ведущее колесо)

В среднем за все время зацепления реакция R_{21} пересекает линию центров в точке P' , которая является серединой отрезка PE и смещена от действительного полюса P на расстояние Δ в сторону от червячного колеса к червяку. Длина отрезка PP' для червячного зацепления определяется по формуле

$$PP' = \Delta = \frac{\sin \varphi \varepsilon_x m_x \pi}{4}, \quad (1)$$

где φ – угол трения;

ε_x – коэффициент осевого перекрытия червячного зацепления;

m_x – модуль (осевой) червячного зацепления.

Вывод формулы (1) подобен выводу аналогичной формулы Л.Н. Решетова для прямозубого эвольвентного зацепления, который кратко описан в источнике [3] и более полно – в источнике [4].

План сил в червячном зацеплении в тяговом режиме обратного хода изображен на рисунке 3, где показаны векторы следующих сил: F_{r12} – нормальная сила реакции со стороны зуба колеса на виток червяка; F_{mp} – сила трения между контактирующими поверхностями; F_{r12} – полная сила реакции со стороны зуба колеса на виток червяка (с учетом силы трения F_{mp}); F_θ – движущая сила в зацеплении, являющаяся проекцией реакции F_{r12} на поперечную плоскость колеса yPz ; F_{nc} – сила полезного (производственного) сопротивления в зацеплении, равная по модулю проекции силы F_{r12} на поперечную плоскость червяка xPy .

Для определения КПД червячной передачи справедлива формула

$$\eta'_q = \frac{|A_{nc}|}{A_\theta} = \frac{M_{nc} \delta'_2}{M_\theta \delta'_1}. \quad (2)$$

где A_{nc} – мгновенная работа по преодолению момента полезных сопротивлений M_{nc} ;

A_θ – мгновенная работа, производимая движущим моментом M_θ ;

δ'_2, δ'_1 – мгновенные углы поворота червяка и червячного колеса соответственно.

Момент M_θ возникает в результате вращательного действия силы F_θ относительно мгновенного центра поворота колеса C_1 , и из схемы (рисунок 3) он равен

$$M_{\delta} = \frac{F_{r12} \cos \alpha \cos(\gamma - \varphi_x)}{\cos a'_i} [(r_1 + \Delta) \cos a'_i + a'_i]. \quad (3)$$

где α, φ_x, a'_i – углы червячного зацепления;

r_1 – делительный радиус червячного колеса;

a'_i – радиус подшипников колеса по окружности трения.

Момент M_{nc} силы F_{nc} относительно мгновенного центра вращения червяка C_2 , в соответствии со схемой (рисунок 3), равен

$$M_{nc} = \frac{F_{r12} \cos \alpha \sin(\gamma - \varphi_x)}{\cos \theta'} [(r_2 - \Delta) \cos \theta' - a'_i]. \quad (4)$$

где θ' – угол червячного зацепления (рисунок 3);

r_2 – делительный радиус червяка;

a'_i – радиус подшипников червяка по окружности трения.

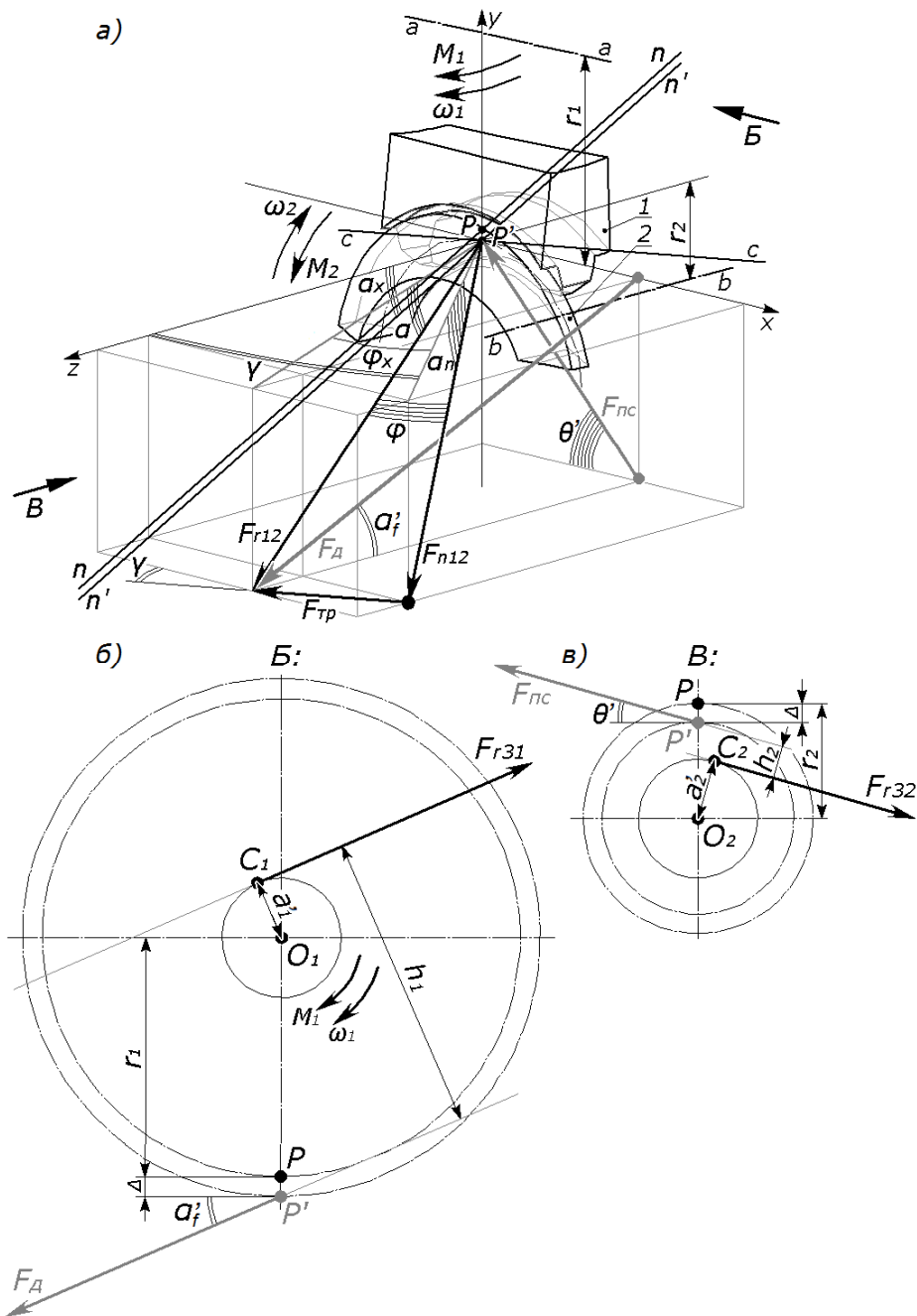


Рисунок 3 – План сил в червячном зацеплении в тяговом режиме обратного хода с учетом смещения линии зацепления: а)-общий вид; б)-проекционный вид В (колесо); в)-проекционный вид В (червяк); 1-зуб червячного колеса; 2-виток червяка

Отношение δ'_2/δ'_1 мгновенных углов поворота червяка и колеса равно

$$\frac{\delta'_2}{\delta'_1} = \frac{r_1}{\operatorname{tg} \gamma r_2}. \quad (5)$$

Подставим равенства (3)-(5) в (2)

$$\begin{aligned} \eta'_4 &= \frac{\frac{F_{r12} \cos \alpha \sin(\gamma - \varphi_x)}{\cos \theta'} [(r_2 - \Delta) \cos \theta' - a'_2]}{\frac{F_{r12} \cos \alpha \cos(\gamma - \varphi_x)}{\cos \alpha'_f} [(r_1 + \Delta) \cos \alpha'_f + a'_1]} \frac{\delta'_2}{\delta'_1} = \\ &= \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \varphi_x) [(r_2 - \Delta) \cos \theta' - a'_2] \cos \alpha'_f}{[(r_1 + \Delta) \cos \alpha'_f + a'_1] \cos \theta'} \frac{r_1}{\operatorname{tg} \gamma r_2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Подставим в выражение (6) значение Δ из формулы (1)

$$\eta'_4 = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \varphi_x)}{\operatorname{tg} \gamma} \frac{1 - \frac{\sin \varphi \varepsilon_x \pi}{2q} - \frac{2a'_2}{qm_x \cos \theta'}}{1 + \frac{\sin \varphi \varepsilon_x \pi}{2z'_1} + \frac{2a'_1}{z'_1 m_x \cos \alpha'_f}}, \quad (7)$$

где q – коэффициент диаметра червяка;

z'_1 – число зубьев червячного колеса.

2 Исследование червячной передачи в тяговом режиме обратного хода. Функциональная зависимость КПД червячной передачи в тяговом режиме обратного хода от угла γ имеет вид

$$\eta'_4(\gamma) = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \varphi_x)}{\operatorname{tg} \gamma} \frac{1 - \frac{\sin \varphi \varepsilon_x \pi}{2q} - \frac{2a'_2}{qm_x \cos \theta'}}{1 + \frac{\sin \varphi \varepsilon_x \pi}{2z'_1} + \frac{2a'_1}{z'_1 m_x \cos \alpha'_f}}. \quad (8)$$

Представим функцию $\eta'_4 = f(\gamma)$ как произведение двух функций

$$\eta'_4 = f(\gamma) = \eta'_{41} \cdot \eta'_{42} = f_1(\gamma) \cdot f_2(\gamma) = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \varphi_x)}{\operatorname{tg} \gamma} \frac{1 - \frac{\sin \varphi \varepsilon_x \pi}{2q} - \frac{2a'_2}{qm_x \cos \theta'}}{1 + \frac{\sin \varphi \varepsilon_x \pi}{2z'_1} + \frac{2a'_1}{z'_1 m_x \cos \alpha'_f}}. \quad (9)$$

Графики функций $\eta'_{41} = f_1(\gamma)$ и $\eta'_{42} = f_2(\gamma)$ показаны на рисунке 4.

В данном случае функция $\eta'_{42} = f_2(\gamma)$ описывает потери в эвольвентном зацеплении червячной передачи, которые мало зависят от угла γ , поэтому её график имеет вид прямой линии, параллельной оси $O\gamma$ для всего заданного диапазона значений γ . Функция $\eta'_{41} = f_1(\gamma)$ описывает потери в винтовом зацеплении червячной передачи, и именно её кривая осуществляет переход из области $+\eta'_4$ в область $-\eta'_4$ при $\gamma = \varphi_x$. Тогда формулу (8) можно записать в виде

$$\eta'_4 = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \varphi_x)}{\operatorname{tg} \gamma} c_1, \quad (10)$$

где c_1 – постоянная, существенно не зависящая от угла γ .

Если угол γ находится в диапазоне $(0^\circ \dots \varphi_x)$, то КПД червячной передачи в режиме обратного хода имеет отрицательное значение:

$$\operatorname{tg}(\gamma - \varphi_x) \Big|_{\gamma \in (0^\circ \dots \varphi_x)} = x_1 < 0; \quad (11)$$

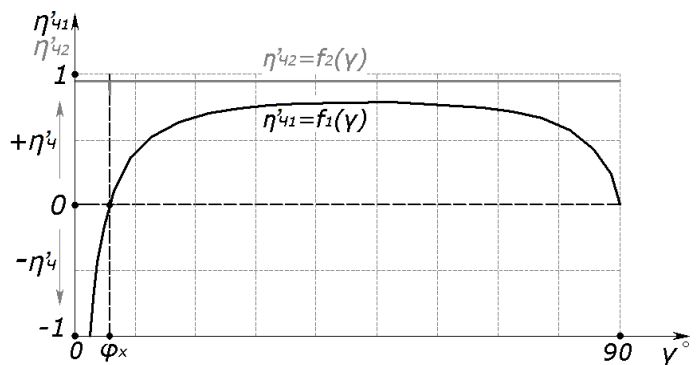


Рисунок 4 – Графики функций $\eta'_{41} = f_1(\gamma)$ и $\eta'_{42} = f_2(\gamma)$

$$\operatorname{tg} \gamma|_{\gamma \in (0^\circ \dots \varphi_x)} = x_2 > 0; \quad (12)$$

$$\eta'_q|_{\gamma \in (0^\circ \dots \varphi_x)} = \frac{\operatorname{tg}(\gamma - \varphi_x)}{\operatorname{tg} \gamma} c_1 = \frac{x_1}{x_2} c_1 = y_1 < 0. \quad (13)$$

В этом случае передача вращательного движения от червячного колеса к червяку невозможна, так как вектор движущей силы \vec{F}_o при любом собственном значении окажется внутри треугольника трения с катетами-векторами \vec{F}_{n12} и \vec{F}_{mp}^n (вектор потенциальной максимальной силы трения, возможной в зацеплении при данном значении коэффициента трения f). Такой случай расположения векторов сил схематично показан на рисунке 5, где указанный треугольник трения выделен штриховкой.

Смена знака η'_{q1} на «-», как следует из графика на рисунке 4, может произойти при следующем соотношении между осевым углом трения φ_x и углом подъема винтовой линии γ

$$\gamma < \varphi_x. \quad (14)$$

3 Оценка самоторможения червячной передачи. Из схемы (рисунок 5) заметим, что за второе условие самоторможения червячной передачи можно принять следующее

$$F_{mp}^n > F_{mp}. \quad (15)$$

При его выполнении самоторможение обеспечивается с запасом, величину которого (запаса) можно оценить численно при помощи коэффициента k_c , который назовем коэффициентом запаса самоторможения

$$k_c = \frac{F_{mp}^n}{F_{mp}}. \quad (16)$$

Из схемы (рисунок 5) модуль вектора \vec{F}_{mp}^n равен

$$F_{mp}^n = F_{n12} \operatorname{tg} \varphi. \quad (17)$$

Из той же схемы модуль вектора \vec{F}_{mp} равен

$$F_{mp} = F_{n12} \operatorname{tg} \gamma_{mp}. \quad (18)$$

Тогда коэффициент k_c запаса самоторможения червячной передачи равен

$$k_c = \frac{F_{mp}^n}{F_{mp}} = \frac{F_{n12} \operatorname{tg} \varphi}{F_{n12} \operatorname{tg} \gamma_{mp}} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \gamma_{mp}}. \quad (19)$$

Угол γ_{mp} равен

$$\gamma_{mp} = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \gamma \cos \alpha_n). \quad (20)$$

С учетом формулы (20) равенство (19) принимает вид

$$k_c = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \gamma \cos \alpha_n}. \quad (21)$$

Поскольку для червячной передачи при проектировании задается обычно делительный осевой угол профиля витка червяка α_x , то подставим в формулу (21) значение α_n , выраженное через угол α_x

$$k_c = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \gamma \cos [\operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \alpha_x \cos \gamma)]}. \quad (22)$$

В полученной формуле (22) значение угла α_x задается при проектировании червячной передачи, угол φ является углом трения, а значение угла γ равно

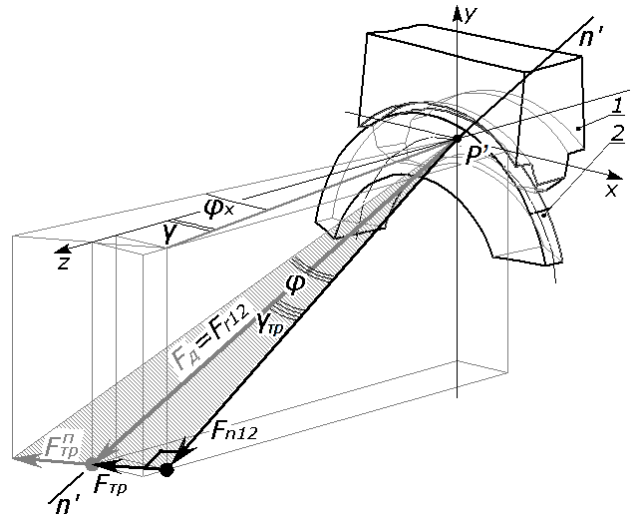


Рисунок 5 – План сил в червячном зацеплении при $\gamma = (0^\circ \dots \varphi_x)$: 1-зуб червячного колеса; 2-виток червяка

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{z_1}{q}. \quad (23)$$

Немного изменим вид формулы (22) для удобства вычисления, заменив выражение в числителе дроби $\operatorname{tg} \varphi$ на коэффициент трения скольжения f

$$k_c = \frac{f}{\operatorname{tg} \gamma \cos [\operatorname{arctg} (\operatorname{tg} \alpha_x \cos \gamma)]}. \quad (24)$$

Полученная формула (24) определяет коэффициент k_c запаса самоторможения архимедовой червячной передачи, который может быть определен еще на начальной стадии проектирования. В соответствии с определением данного коэффициента:

- при значении $k_c > 1$ передача должна проявлять свойство самоторможения с запасом;
- при $k_c = 1$ передача находится на грани самоторможения, и это её свойство может проявиться или скрыться при бесконечно малом увеличении или уменьшении коэффициента трения f соответственно;
- при значении $k_c < 1$ возникновения явления самоторможения в передаче ожидать не следует, так как она не является самотормозящей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ЗАО УкрСтройДом [Электронный ресурс]: кат. продукции. -Режим доступа: <http://ukrstroydom.com>.
- 2 Иванов, М.Н. Детали машин: учеб. для машиностроит. специальностей вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. -12-е изд, испр. -Москва : Высш. шк., 2008. -408 с.
- 3 Баранов, Г.Г. Курс теории механизмов и машин / Г.Г. Баранов. -Москва : Машиностроение, 1966. -510 с.
- 4 Решетов, Л.Н. Трение в зубцах с эвольвентным зацеплением / Л.Н.Решетов // Труды семинара по теории машин и механизмов / АН СССР. -1947. -Т. 1, вып. 2.
- 5 Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. -2-е изд., перераб. и доп. -Москва: Машиностроение, 1968. -480 с.
- 6 Сергеева, И.В. Моделирование зацепления при проектировании приводов машин на основе спироидных передач: дис. ... канд. техн. наук / И.В. Сергеева. -Новосибирск, 2012. -176 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *привод, проектирование, червячная передача, самоторможение, зацепление, коэффициент трения*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Анферов Валерий Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Кузьмин Антон Васильевич, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

КОЛЕБАНИЯ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

А.М. Барановский, М.А. Федосеева

ELASTIC SUSPENSION UNITS OCCILLATION
Siberian state university of water transport
A.M. Baranovskij, M.A. Fedoseeva

The exploration of helicoidal springs with many degrees of freedom based on oscillation energy is represented. The study of mechanical «temperature» spring oscillation is discussed.

Keywords: oscillations of a spring, energy distribution on the degrees of freedom, ship vibration isolators, protection against noise on board ships

Рассмотрен энергетический подход для исследования колебаний винтовых пружин с множеством степеней свободы. Введено понятие механической «температуры» при колебаниях упругого элемента.

Исследования колебаний винтовых пружин может быть проведено различными методами [1-3]. Достоверность этих методов проверенная на физических моделях [4] показывает их адекватность при заданных условиях закрепления и формах колебаний. В реальных подвесках, предназначенных для шумоизоляции на судах, число витков не превышает шести, а диаметр проволоки редко бывает меньше 10 мм. Главное отличие предлагаемых виброизоляторов в большом количестве витков, которое может достигать нескольких десятков и малом диаметре проволоки. Несущая способность опоры в целом определяется количеством пружин, которое может быть несколько сотен. Динамическое поведение длинных пружин отличается крайним разнообразием. Отметим три основных вида колебаний: поперечные, продольные, крутильные. На эти колебания накладываются случайные сотрясения, которые

связаны с перетеканием энергии из одного типа колебаний в другой в силу небольшой нелинейности деформации. Низкая устойчивость процесса выражается в постоянной смене форм колебаний даже при стационарном воздействии.

В качестве гипотезы шумоизоляции рассмотрим модель поведения винтовой пружины как системы с большим числом степеней свободы, энергия по которым распределена равномерно. Особенность такого подхода состоит в том, что равномерное распределение должно рассматриваться для потенциальной и кинетической энергии одновременно. В нашем случае это означает, что кинетическая энергия для данной формы колебаний пропорциональна податливости. Те формы, которые возникают при высокой частоте, энергетически меньше, чем низкочастотные формы.

Допустим, что передача звуковой энергии через пружину пропорциональна кинетической энергии. Используя понятие суперпозиции колебаний, будем рассматривать кинетическую энергию по каждой форме отдельно.

Полная энергия пружины

$$H^k + H^p = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}cq^2.$$

Равнораспределение применимо не только к кинетической энергии, но и к потенциальной

$$H^p = \frac{1}{2}cq^2.$$

где c – жесткость пружины;

q – отклонение от равновесного положения.

Если одномерная система имеет массу m , то ее кинетическая энергия будет

$$H^k = \frac{p^2}{2m}.$$

Равнораспределение подразумевает, что при тепловом равновесии осциллятор обладает средней энергией, которая равна

$$H = H^k + H^p.$$

Аналогия такого поведения прослеживается в газах с различной атомной массой. По закону Вина плотность вероятности скорости атома имеет максимум, зависящий от атомной массы. Чем больше масса атома, тем ниже его наиболее вероятная скорость. Произведение квадрата скорости на атомную массу является константой для любого газа при заданной температуре. Допустим, пружина испытывает разнообразные колебания. Число степеней свободы бесконечно велико, но можно ввести плотность энергии по степеням свободы как для газа.

Введём понятие механической температуры пружины как произведения квадрата скорости колебаний на приведённую массу данной формы. Приведённая масса выбирается потому, что элементы формы имеют различную скорость колебания. По физической размерности механическая температура также является энергией.

Упрощения данной модели можно вести в самом начале, поскольку они являются очевидными и не могут изменить качественную картину явления. Допустим, что все формы колебаний винтовой пружины являются синусоидальными. Это допущение всегда имеет место при наличии границ системы и в простых случаях низкочастотных колебаний даёт хороший результат. Для высокочастотных форм такая гипотеза не всегда применима, поскольку характер колебаний изменяется [5]. Таким образом, задача отыскания механической температуры пружины сводится к анализу всех форм, особенно низкочастотных и определению их инерционно-упругих характеристик. Используя аналогию с газом, рассмотрим механическую энергию двухмассовой системы, в которой массы различаются в 10 раз (рисунок 1).

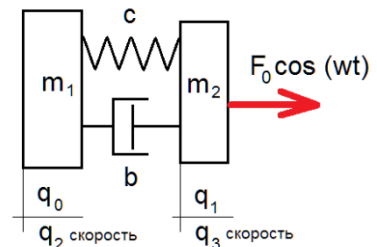


Рисунок 1 – Модель системы

Решая систему двух уравнений динамики численными методами, получим графики кинематических характеристик обеих масс при почти нулевой, дорезонансной частоте (рисунок 2). Графики имеют вид полностью соответствующий теории колебаний, что является верификацией метода интегрирования.

$c := 10$ $m1 := 1$ $m2 := .1$

$\text{init_vals} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ -10 \end{pmatrix}$

 fist mass initial displacement
 second mass initial displacement
 first mass initial velocity
 second mass initial velocity

$\text{init_t} := 0$ $\text{final_t} := 1$ $\text{Nsteps} := 1000$

$$D(t, q) := \begin{bmatrix} q_2 \\ q_3 \\ (q_1 - q_0) \cdot c \cdot \frac{1}{m1} \\ (q_0 - q_1) \cdot c \cdot \frac{1}{m2} \end{bmatrix}$$

$R := \text{rkfixed}(\text{init_vals}, \text{init_t}, \text{final_t}, \text{Nsteps}, D)$

$i := 0.. \text{Nsteps}$

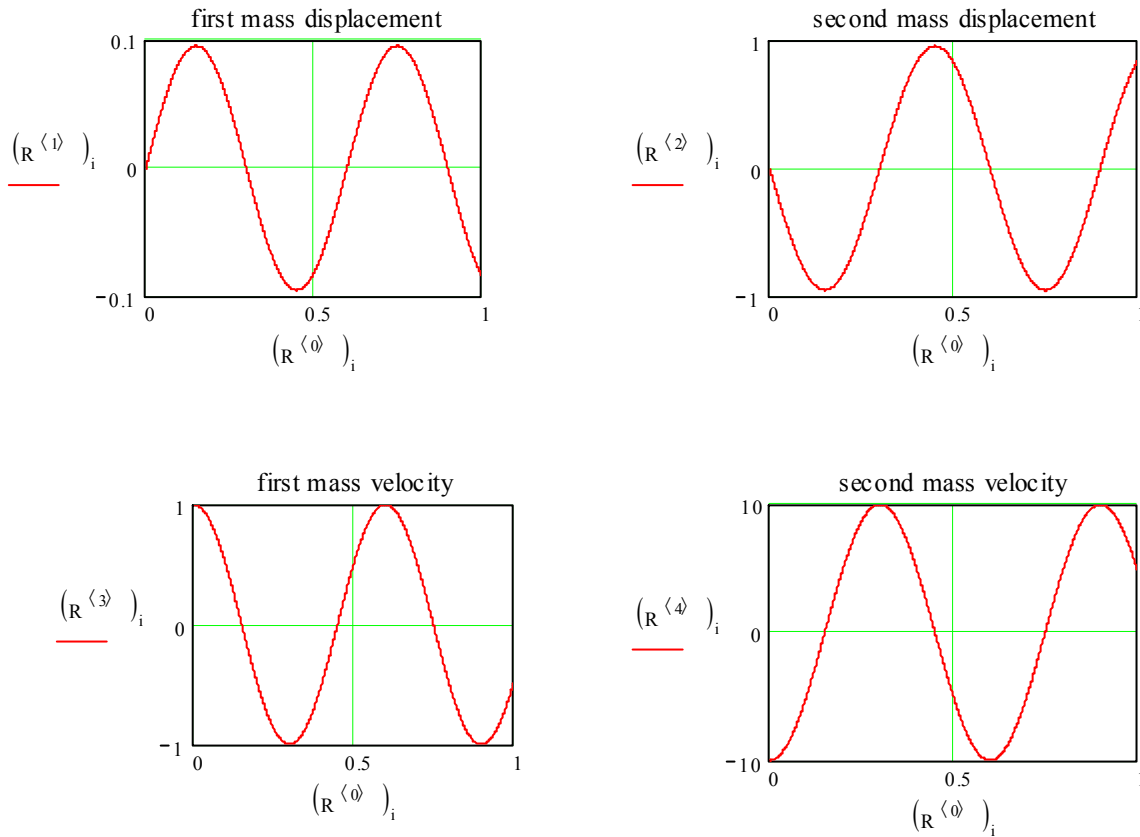


Рисунок 2 – Скорости и смещения масс при одноосных колебаниях

При свободных колебаниях отклонения, скорости и кинетическая энергия обратно пропорциональны массам. Узел на форме расположен ближе к большой массе и потенциальная энергия пружины по сторонам от узла, больше у малой массы. Если разделить энергию на объём пружины по сторонам от узла, она будет одинакова по всей длине. Можно отнести пружины по сторонам от узла к степеням свободы, тогда «равнораспределение» трактовать как равное распределение плотности энергии по степеням.

Рассмотрим колебания системы с десятью одинаковыми массами при мягком ударе по крайней массе (рисунок 3) и систему с одной большой массой с мягким ударом в середине цепи (рисунок 4).

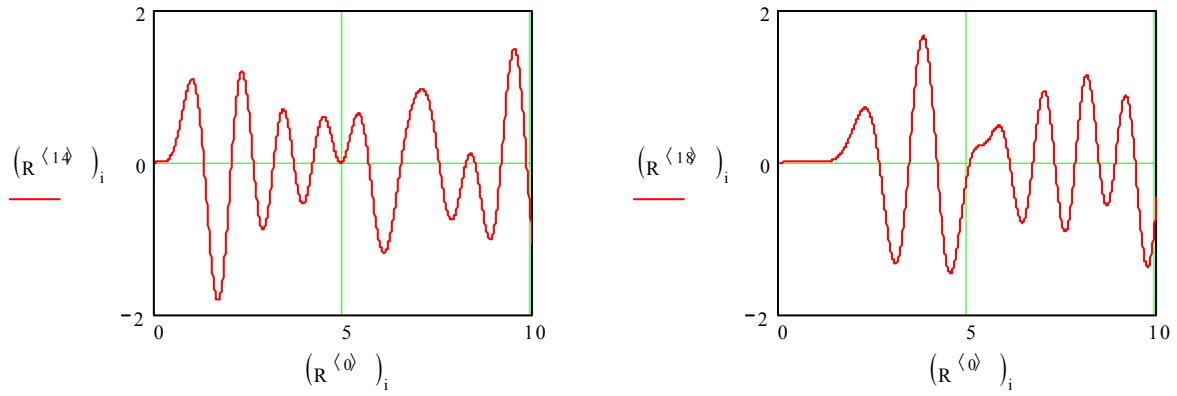


Рисунок 3 – Одинаковые колебания удалённых частей

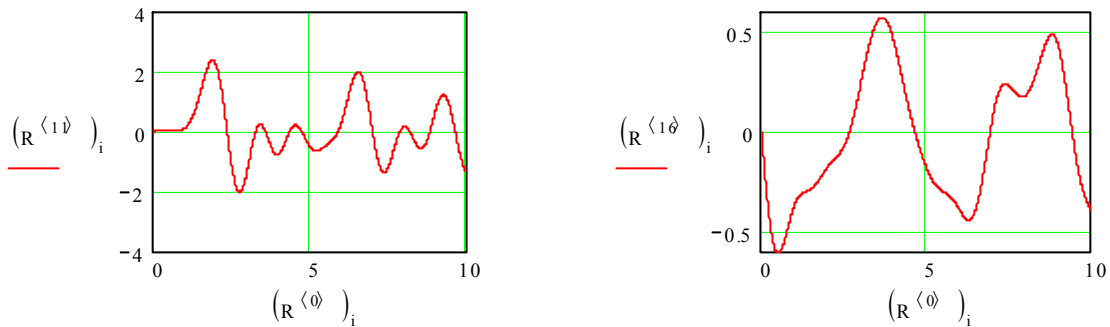


Рисунок 4 – Колебания большой и малой массы

На рисунке 5 скорости всех масс, тяжелая масса (толстая линия).

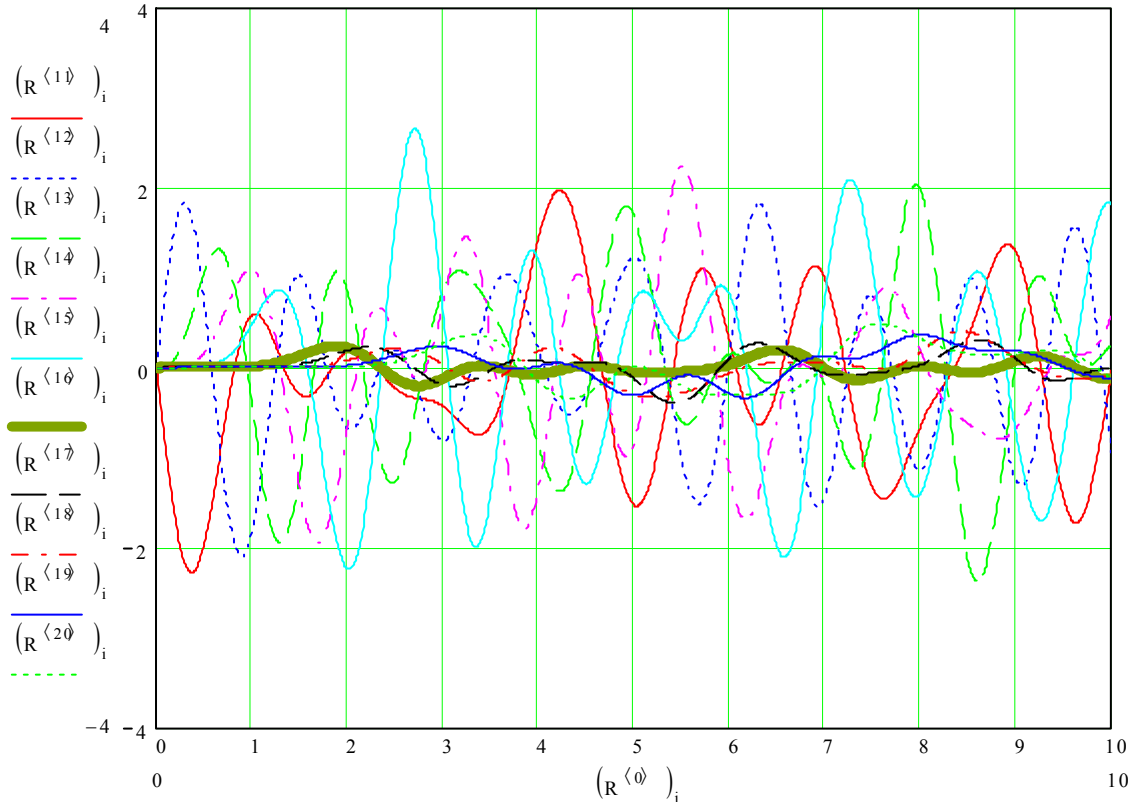

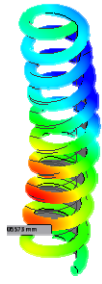

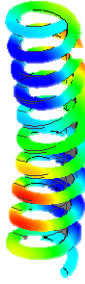


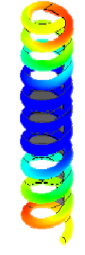



Рисунок 5 – Колебания всех масс

Результат всегда одинаковый: чем меньше масса, тем больше в ней кинетической энергии, плотность потенциальной энергии всюду одинакова. Если начальные условия заданы с края, большая масса не пропускает колебания по цепочке и делит систему на части.

Свободные колебания пружины, закрепленной по концам, показывают (таблица 1) наибольшие смещения в центральной части, что близко к синусоидальной форме эюры колебаний.

Таблица – Поперечные и продольные формы колебаний пружины

Частота, Гц	Смещение			
	полное	ось x	ось y	ось z
1211				
1841				

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Щербакова, О.В. Дискретные модели динамики пружин / О.В. Щербакова, А.М. Барановский // Повышение эффективности судовой виброизоляции: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2013. -С. 9-13.
- 2 Щербакова, О.В. Энергия поперечных колебаний пружин / О.В. Щербакова, М.К. Романченко // Снижение структурного шума и вибрации на судах: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2012. -С. 80-86.
- 3 Федосеева, М.А. Анализ спектра пружин упругих опор / М.А. Федосеева // Повышение эффективности судовой виброизоляции: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2013. -С. 18-25.
- 4 Ришко, Ю. И. Упругие свойства компенсатора сил инерции / Ю. И. Ришко, Л. О. Соловьёва // Вопросы эксплуатации судовой техники: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2011. -С. 17-24.
- 5 Щербакова, О.В. Виброизоляция структурного шума на судах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.В. Щербакова. -Новосибирск, 2014. -20 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колебания пружины, распределение энергии по степеням свободы, судовые виброизоляторы, защита от шума на судах

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Барановский Александр Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Федосеева Марина Александровна, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПОВРЕЖДЕНИЙ ПО ИНТЕГРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова»

Н.Н. Фомин

MONITORING SYSTEM DAMAGE INTEGRAL CHARACTERISTICS OF THE SHIP EQUIPMENT
Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping
N.N. Fomin

The advantages of an integrated system of maintenance and repair of vessels.

Keywords: diagnostics, maintenance service, vessel, repair

Рассмотрены преимущества комплексной системы техобслуживания и ремонта судов.

В настоящее время происходит отказ от планового проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту судового механического оборудования, основанный на технических ресурсах, устанавливаемых фирмами-изготовителями судовых технических средств и накопленном опыте технической эксплуатации судовладельцами, что дает возможность бо-

лее эффективно использовать технические ресурсы. При этом профилактические работы на судовом оборудовании выполняются только в случае необходимости, когда диагностические параметры превысили допустимые значения. Преимущества комплексной системы техобслуживания и ремонта судов могут быть наиболее ощутимы в случае знания показателей надежности судов в целом, то есть при широком применении технического диагностирования в период эксплуатации судов [1, 2].

Первая проблема требует значительных затрат по сбору, накоплению информации о техническом состоянии того или иного оборудования. К тому же выполнение этих работ не входит в обязанности эксплуатирующих это оборудования, кроме накопления информации о наработках на отказы в рабочей документации, что ненамного улучшает долговечность и работоспособность самого оборудования.

Вторая проблема, хотя и перспективность очевидна, связана с необходимостью значительных материальных затрат на приобретение специального оборудования, вычислительно-измерительных комплексов, прикладных программ к ним, компьютеров, введения дополнительных штатных единиц высокой квалификации в организации обслуживающие перевозки и распределения дополнительных обязанностей для инженерно-технического персонала служб.

Эффективность решения задач диагностирования зависит от правильности выбора методов и применения средств диагностирования. Поэтому рекомендуется в практических вопросах диагностирования судовых технических средств использовать не только руководящие документы и справочники, содержащие все необходимые данные по этой проблеме, но и современные научные достижения.

Задачами диагностирования судового оборудования являются:

- определение возможности выполнять свои функциональные возможности;
- оценка технического состояния на момент эксплуатации;
- идентификация повреждений и характер дефекта;
- прогнозирование момента времени, когда эксплуатационные технические показатели достигнут предельного состояния или объект потеряет работоспособность.

Формирование технического заключения предусматривает: при положительном результате определения технического состояния оборудования - степень работоспособности объекта и прогнозирование изменения состояния объекта; при отрицательном результате проверки – о неработоспособности объекта, а также результаты поиска возникшего дефекта и о фактическом состоянии объекта.

Знание особенностей диагностирования судового оборудования позволяет правильно организовать техническую эксплуатацию и использование оборудования и обеспечить надлежащий уровень его надежности.

Объект исследования (или диагностирования) рассматривается в рабочем состоянии, при этом микроструктура не анализируется, внедрение в структуру объекта по правилам технической эксплуатации

недопустимо. Оценка технического состояния судовых энергетических установок производится по факторам, к которым следует отнести:

- входные параметры – давление и температуры рабочих сред (топливо, масло, вода, воздух), параметры качества сред (по результатам анализа), технологические характеристики (зазоры во всех сопрягаемых поверхностях) и т.п.;
- выходные параметры – мощность, частота вращения, параметры рабочего процесса, давления и температуры рабочих сред на выходе из дизеля и т.д.;
- внешние факторы – параметры волнения, ледовая обстановка, качка, состояние загрузки судна (в грузу или в балласте) и т.п.;
- субъективные факторы – шум, вибрация, излучения, выделения газов, примеси в масле.

Режимы работы главного дизеля для исследования технического состояния выбирают номинальные, либо любые другие в зависимости от поставленной цели.

Методы технической диагностики судового оборудования включают в себя: статические, логические и метрические.

Первые не находят применения, так как в основе лежат результаты длительных наблюдений, что исключает краткосрочные прогнозы. Однако они уже использованы в компьютеризированных системах типа «Микролог» при составлении моделей изменения диагностического параметра (состояния объекта) во времени по результатам нескольких измерений и

определении остаточного ресурса.

Логические методы в основном касаются оптической интроскопии и определения утечек, где достаточно установления факта наличия дефекта (по системе «да» – «нет») и качественной его оценки.

Также кратко представлены универсальные переносные диагностические системы и метрологическое обеспечение средств диагностирования, которое является обязательным для всего приборного парка.

Метрические методы диагностирования судового оборудования наиболее развиты, к ним относятся:

- вибрационные;
- тепловые методы диагностирования;
- измерение давления;
- измерение расхода жидкостей и газов;
- измерение частоты вращения, момента и мощности;
- оптическая интроскопия;
- измерение ударных импульсов;
- определение утечек;
- определение наличия продуктов изнашивания в масле и оценка его качества;
- определение состава выпускных газов.

Актуальным является вопрос о идентификации поврежденных конструкций, выявлении дефектов, уже имеющихся в детали или конструкции, определении их местоположения, величины. Для определения технического состояния деталей и узлов СЭУ из перечисленных относятся первых два метода.

Исследование в этом направлении особенно необходимы для деталей и конструкций, разрушение которых может привести к авариям и катастрофам. Существующие способы не всегда могут определить наличие прочностных дефектов в деталях, конструкциях и оценить их усталостную прочность. Необходимо исследовать закономерности изменения характеристик неупругости при циклическом нагружении деталей и конструкций.

Неупругость вызвана рассеиванием энергии при колебаниях приводит, с одной стороны, к деформированию колебаний – уменьшению амплитуд и частоты затухающих или ограничению амплитуд колебаний в резонансе, а, с другой стороны, к тепловыделению в материале, приводящем к повышению температуры поверхности детали, в результате саморазогрева материала при циклическом деформировании.

Так как возникновение трещин или изменения технического состояния приводит к увеличению демпфирования и к уменьшению периода затухающих колебаний, то для идентификации поврежденных необходимо использовать периодическое изменение демпфирования и периода затухающих колебаний до и после наработки. Следует отметить, что динамические характеристики: демпфирование и период затухающих колебаний деталей, конструкции являются интегральными характеристиками, так как они определяются для всего оборудования или конструкции. Хотя эти характеристики интегральные, они существенно изменяются при возникновении в детали или конструкции локальных дефектов. Из этих двух динамических характеристик в работе предпочтение отдается демпфированию, так как относительное изменение демпфирования от дефекта значительно больше относительного изменения периода затухающих колебаний. Кроме того, на эти характеристики не воздействуют внешние факторы, отмеченные в начале статьи. Но воздействуют субъективные факторы, которые вызывают трудности применения вибрационного и теплового методов на судах, так как при колебаниях деталей с амплитудами напряжений, соответствующим эксплуатационным, например тепловыделение не велико и может легко подавляться другими источниками или от излучения других более нагретых тел.

Большинство измеренных динамических характеристик (частота, формы колебаний, амплитуды и модальный демпфинг) являются функциями физических характеристик конструкции (массы, демпфирования и жесткости). Повреждение – изменение в материале напряженно-деформируемого состояния, включая изменения геометрических характеристик конструкции, изменение граничных условий и связей.

Алгоритм обнаружения повреждений в деталях, конструкции для вибрационного и теплового методов идентичен: измерение – обработка сигнала – классификация – действие. Повреждения могут быть классифицированы и разделены на группы в зависимости от степени срочности реагирования на них. Реализация системы обнаружения и диагностики по-

вреждений может происходить следующими вариантами:

- численное моделирование линейного или плоского напряженно-деформируемого состояния;
- запись и воспроизведение цифровых сигналов без потери качества;
- программируемость – изменения свойств системы без замены аппаратного обеспечения;
- быстрое выполнение комплексных алгоритмов и преобразований.

Система обнаружения и диагностика повреждений должна обладать следующими свойствами:

- определять наличие повреждений;
- определять месторасположение повреждений;
- определять характеристики повреждений.

Представление сигналов, измеренных вибрационными датчиками или тепловидением, идет в цифровой форме и цифровая обработка сигналов, их модификация (удаление шумов), извлечение информации (спектральный анализ) и передача – все это базовые функции системы цифровой обработки.

Накопление с полученных данных об ответе детали или конструкции судового оборудования на различные воздействия в дальнейшем обрабатываются с помощью методов статистики и интерпретируются в оценку технического состояния детали или конструкции в момент эксплуатации для дальнейшего определения скорости деградации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ефремов, Л.В. Практика инженерного анализа надежности судовой техники / Л.В. Ефремов. -Ленинград: Судостроение, 1980. -176 с.
- 2 Калявин, В.П. Технические средства диагностирования / В.П. Калявин, А.В. Мозголевский. -Ленинград: Судостроение, 1984. -208 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *диагностика, техническое обслуживание, судно, ремонт*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Фомин Николай Николаевич, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, ФБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»*

КОНДУКТИВНЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬЮ НАПРЯЖЕНИЯ, В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ (0,4-2) кВ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СКВАЖИНЫ ПО ДОБЫЧЕ НЕФТИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
 Нижневартовский филиал ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

В.Г. Сальников, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Н.А. Ковалева

CONDUCTIVE LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE CAUSED BY NON-SINUSOIDAL VOLTAGE V MAINS (0,4-2) kV MECHANIZED WELL IN OIL

Nizhnevartovsk branch Omsk state technical university
 Siberian state university of water transport
 V.G. Sal'nikov, Ju.M. Denchik, M.N. Ivanov, N.A. Kovaleva

The results of the experiment to determine the conductive low-frequency electromagnetic interference caused by non-sinusoidal voltage (0,4-2) kV mechanized wells for oil. Recommendations for suppression of interference.

Keywords: conductive low-frequency electromagnetic interference, trade transformer, non-sinusoidal voltage, estimated time, parameter

Приведены результаты эксперимента по определению кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех, обусловленных несинусоидальностью напряжения в сети (0,4–2) кВ механизированной скважины по добыче нефти. Предложены рекомендации по подавлению этих помех.

В настоящее время большая часть разрабатываемых месторождений нефти в России имеет низкие пластовые давления вследствие истощения месторождений из-за многолетней эксплуатации пластов, а также большую глубину залегания последних, превышающих во многих случаях 3500 м, и требующую использования установок механизированной добычи нефти. Иерархическая структура электроснабжения наземного и погружного электрооборудования приведена на рисунке 1. Особенностью этой схемы является наличие управляемой системы преобразования электрической энергии (станция управления «Электрон-05», промышленный трансформатор типа ТМПНГ 250/3), которая является источником несинусоидальности напряжения [1].

Измерялись показатели качества электроэнергии по ГОСТ Р 32144-2013, характеризующие несинусоидальность напряжения: суммарный коэффициент высших гармонических составляющих напряжения K_U и коэффициенты n -х гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ [2]. Случайные величины K_U и $K_{U(n)}$ в течение суток с помощью сертифицированной системы измерений (анализатор качества электрической энергии серии АКЭ-823, компьютер Samsung NP-R519) формировали случайное поле событий. Под случайным полем понимается случайная функция нескольких независимых переменных [3].

Математическая модель поля событий – объекта исследования представляется в виде уравнений (рисунок 1).

$$\begin{cases} \delta K_U = \varphi(K_{U1}, K_{U2}, \dots, K_{Uj}, \dots, K_{Un}); \\ \delta K_{U(2)} = \psi_1(K_{U(2)1}, K_{U(2)2}, \dots, K_{U(2)j}, \dots, K_{U(2)n}); \\ \dots \\ \delta K_{U(i)} = \psi_i(\delta K_{U(i)1}, K_{U(i)2}, \dots, K_{U(i)j}, \dots, K_{U(i)n}); \\ \dots \\ \delta K_{U(n)} = \psi_n(\delta K_{U(n)1}, K_{U(n)2}, \dots, K_{U(n)j}, \dots, K_{U(n)n}), \end{cases} \quad (1)$$

При ограничениях:

- $K_{U,H} < K_{Uj} < K_{U,\Pi}$ в течение свыше 5% времени периода наблюдения;
- $K_{Uj} > K_{U,\Pi}$ в течение 0% времени периода наблюдения;
- $K_{U(n),H} < K_{U(n),i} < K_{U(n),\Pi}$ в течение свыше 5% времени периода наблюдения;
- $K_{U(n),i} > K_{U(n),\Pi}$ в течение 0% времени периода наблюдения.

где δK_U – кондуктивная низкочастотная электромагнитная помеха (ЭМП) по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения, %;
 $\delta K_{U(2)}, \dots, \delta K_{U(i)}, \dots, \delta K_{U(n)}$ – соответственно кондуктивная низкочастотная ЭМП по коэффициенту 2-й, i -ой и n -ой гармоник напряжения, %;
 $K_{U,н}, K_{U,п}$ – соответственной нормально и предельно допустимое значения суммарного коэффициента высших гармонических составляющих напряжения, %;
 $K_{U(n),н}, K_{U(n),п}$ – соответственной нормально и предельно допустимое значение коэффициента n -й гармонической составляющей напряжения, % [2].

Целью исследования является выяснение зависимостей (1), построение интерполяционных моделей участков поверхностей откликов внутри выбранных для эксперимента подбластей факторных пространств, которые определяются пределами изменений коэффициентов K_U и $K_{U(n)}$. Интерполяционные модели могут строиться по результатам пассивного эксперимента, когда условия опыта изменить невозможно [3, 4].

Достаточными характеристиками случайного поля являются математические ожидания и дисперсии (средние квадратические отклонения). Допустимость применения среднего квадратического отклонения вместо ковариационной (корреляционной) функции обуславливается стационарностью случайного процесса, протекающего в вероятностном отношении однородно при изменении параметра t (время). Автокорреляционная функция находится в пределах дисперсии распределения непрерывно распределённой случайной величины [5].

В связи с этим уравнения (1) являются функциями целей, а отклики ($\delta K_U, \dots, \delta K_{U(2)}, \dots, \delta K_{U(n)}$) представляют параметры оптимизации [3]. Семантика задачи исследования заключается в достоверном определении кондуктивных низкочастотных ЭМП по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения δK_U и по коэффициентам n -х гармонических составляющих напряжения в сетях (0,4-2) кВ скважины с механизированной добычей нефти. Математическая модель объекта является по сути своей вопросом, задаваемым исследователем электроэнергетической системе. Этот вопрос состоит из двух составляющих – утверждающей, то есть вносящей некоторые знания, и собственно вопрошающей составляющей. Представленная математическая модель имеет высокий уровень формализации, при котором можно полностью абстрагироваться от физического содержания задачи при ответе на вопрос.

Однако, если на первую вопрошающую составляющую в написанной выше модели получим ответ – найдём числовые оценки случайных величин δK_U и $\delta K_{U(n)}$, то появляется вторая – иерархически выше стоящая вопрошающая составляющая: какие высшие гармонические составляющие напряжения имеют наибольшее воздействие на помеху δK_U ? Имеются ли в исследуемой сети кондуктивные низкочастотные ЭМП по коэффициентам n -х гармонических составляющих напряжения $\delta K_{U(n)}$?

В связи с этим, первоначально, определилась случайная величина δK_U по показаниям K_U в течение расчётного времени. Система измерений показала, что распределение коэффициента K_U следует нормальному закону распределения теории вероятностей. Параметры распределения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения составляют:



Рисунок 1 – Структурная схема электроснабжения механизированной добычи нефти из глубоких скважин: ПЭД-56-117 – маслонаполненный асинхронный погружной электродвигатель

- математическое ожидание $M[K_U] = 71,27\%$;
- среднее квадратическое отклонение $\sigma[K_U] = 0,51$;
- относительное значение времени превышения нормально допустимого значения $T_1 = 95\%$;
- относительное значение времени превышения предельно допустимого значения $T_2 = 95\%$.

Требования ГОСТ 32144-2013 не выполняются. Поэтому определение кондуктивной низкочастотной ЭМП по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения δK_U является объективной необходимостью [4]. Для решения этой задачи воспользуемся положениями методики определения кондуктивной низкочастотной ЭМП, которые свидетельствуют об идентичности параметров распределения показателя качества электроэнергии и помехи, обусловленной нестандартными значениями этого показателя [4, 5].

Нормальная плотность вероятности распределения случайной величины (рисунок 2) определяется равенством

$$\varphi(\delta K_U; 71,27; 0,51) = 0,8 \exp \left[-\frac{(\delta K_U - 71,27)^2}{0,52} \right]. \quad (2)$$

Вероятность попадания δK_U в интервал от 8% (нормально допустимое значение) до 72,5% определяется по формуле

$$P(8 < \delta K_U < 72,5) = 0,8 \int_8^{72,5} e^{-\frac{(\delta K_U - 71,27)^2}{0,52}} \delta K_U. \quad (3)$$

Вычисление этого определённого интеграла с помощью функции Лапласа показало, что этот интеграл равен 0,9902.

Вероятность появления кондуктивной низкочастотной ЭМП по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения составляет

$$P(\delta K_U) = P(8 < \delta K_U < 72,5) - 0,05 \approx 0,9902 - 0,05 \approx 0,94. \quad (4)$$

Таким образом, в сети 0,4 кВ, питающей промышленный трансформатор, наблюдается значительная кондуктивная низкочастотная ЭМП по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения. Эта помеха формируется значениями K_U, δ находящимися в пределах (8; 72,5), характеризуется параметрами: $M[K_U] = 71,27$; $\sigma[K_U] = 0,51\%$. Вероятность её появления (0,94) превышает в 18,8 раз допустимую вероятность (0,05) превышения коэффициентом K_U нормально допустимого значения.

Значительное превышение (в 140 раз) математического ожидания среднего квадратического отклонения случайной величины свидетельствует о выполнении требований критерия А-оптимальности к эксперименту. Данная помеха является локальным параметром электромагнитной обстановки, характеризует степень нарушения уровней электромагнитной совместимости технических средств [5].

Теперь перейдём к анализу распределения в течение расчётного времени коэффициентов n -х гармонических составляющих напряжения, которые и обусловили появление кондуктивной низкочастотной ЭМП δK_U . На первичных обмотках 0,4 кВ промышленного трансформатора типа ТМПНГ 250/3 обнаружены значительные коэффициенты n -х гармонических составляющих напряжения. Из ряда нечётных гармоник не кратных трём выделяется 11-я, а среди чётного ряда гармоник 4-я. Это обстоятельство обусловило необходимость в исследовании соответствующих кондуктивных низкочастотных ЭМП $\delta K_{U(11)}$ и $\delta K_{U(4)}$.

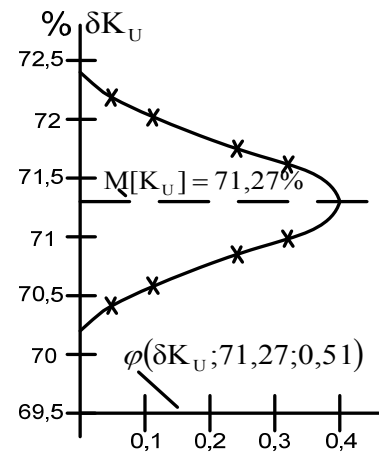


Рисунок 2 – График нормальной плотности вероятности распределения кондуктивной низкочастотной ЭМП по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения

Нормальная плотность вероятности распределения кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту 11-й гармоники напряжения определяется по формуле

$$\varphi(\delta K_{U(11)}; 16,65; 0,51) = 0,78 \exp \left[-\frac{(\delta K_{U(11)} - 16,65)^2}{1,22} \right], \quad (5)$$

где $M[\delta K_{U(11)}]$ – математическое ожидание, $M[\delta K_{U(11)}] = 16,65\%$;

$\sigma[\delta K_{U(11)}]$ – среднее квадратическое отклонение $\sigma[\delta K_{U(11)}] = 0,51\%$.

Вероятность появления $\delta K_{U(11)}$ в течение суток составляет около 0,95. Эта помеха формируется значениями коэффициента $K_{U(11)}$, находящимися в пределах (3,5; 18), характеризуется параметрами:

$M[\delta K_{U(11)}] = 16,65\%$; $\sigma[\delta K_{U(11)}] = 0,51\%$. Вероятность её появления в течение суток (0,95) превышает в 19 раз допустимую вероятность (0,05) превышения коэффициентом $K_{U(11)}$ нормально допустимого значения (3,5%) [2].

Обнаруженная помеха является локальным параметром электромагнитной обстановки, характеризует степень нарушения уровней электромагнитной совместимости технических средств.

Измерение в течение суток коэффициента $K_{U(4)}$ показали, что распределение значений этого коэффициента следует равномерному закону распределения случайной величины теории вероятностей. На рисунке 3 представлен график плотности вероятности равномерно и непрерывно распределённой на отрезке (a, b) величины $\delta K_{U(4)}$. Плотность вероятности распределения постоянна внутри этого промежутка ($a = 7,2\%$, $b = 9,3\%$), так что

$$\begin{cases} \varphi(\delta K_{U(4)}; 8,25; 0,59) = \frac{1}{9,3 - 7,2} = 0,37 \text{ при } 7,2 < \delta K_{U(4)} \leq 9,3; \\ \varphi(\delta K_{U(4)}; 8,25; 0,59) = 0 \text{ при } \delta K_{U(4)} < 7,2 \text{ и } \delta K_{U(4)} > 9,3, \end{cases} \quad (6)$$

где $M[\delta K_{U(4)}]$ – математическое ожидание $M[\delta K_{U(4)}] = 8,25\%$;

$\sigma[\delta K_{U(4)}]$ – среднее квадратическое отклонение $\sigma[\delta K_{U(4)}] = 0,59\%$.

Вероятность появления величины в течение расчётного времени составляет 0,95. Эта помеха формируется значениями коэффициента $K_{U(4)}$, находящимися в пределах (7,2; 9,3), характеризуется математическим ожиданием $M[\delta K_{U(4)}] = 8,25\%$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma[\delta K_{U(4)}] = 0,59\%$. Вероятность её появления превышает в 19 раз допустимую вероятность (0,05) превышения коэффициентом $K_{U(4)}$ нормально допустимого значения (1%) [2].

Обнаруженная помеха является локальным параметром, характеризует степень нарушения уровней электромагнитной совместимости технических средств.

Выводы:

– Значительные кондуктивные низкочастотные ЭМП по суммарному коэффициенту высших гармонических составляющих напряжения и по коэффициентам n-х гармоник напряжения в электрической сети (0,4-2) кВ механизированной скважины по добыче нефти снижают надёжность и экономичность электроснабжения. В соответствии с директивными документами эти помехи должны быть подавлены [2, 4, 5].

– Сетевые фильтры высших гармоник напряжения целесообразно устанавливать на вводах 0,4 кВ промышленного трансформатора типа ТМПНГ 250/3 (рисунок 1).

– Рынок сетевых фильтров высших гармоник напряжения интенсивно развивается, методика выбора этих фильтров достаточно хорошо разработана [4]. Таким образом, имеется всё необходимое для повышения качества функционирования электроснабжения установок

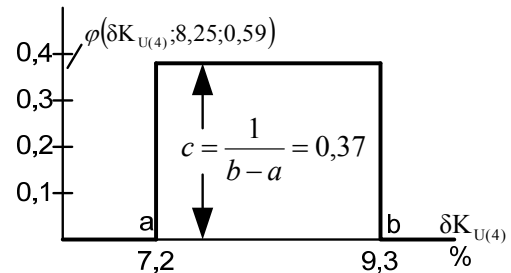


Рисунок 3 – График плотности вероятности равномерно и непрерывно распределённой на отрезке (a, b) величины $\delta K_{U(4)}$

механизированной добычи нефти из глубинных скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ковалёв, А.Ю. Опции станций управления погружными установками электроцентробежных насосов для добычи нефти: учеб. пособие / А.Ю. Ковалёв, Е.М. Кузнецов, В.В. Аникин. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – 48 с.
- 2 ГОСТ 32144–2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ). – Москва: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
- 3 Бримкулов, У.Н. Планирование экспериментов при исследовании случайных полей и процессов / У.Н. Бримкулов, Г.К. Круг, В.Л. Саванов. – Москва: Наука, 1986. – 153 с.
- 4 Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В. Ситников; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. – 559 с.
- 5 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.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *кондуктивная низкочастотная электромагнитная помеха, промышленный трансформатор, несинусоидальность напряжения, расчётное время, параметр*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Иванов Михаил Николаевич, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Ковалева Наталья Александровна, преподаватель Нижневартковский филиал ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»*
628600, Тюменская область, (ХМАО-Югра), г.Нижневартовск, Западный промышленный узел, Панель 14, ул.Индустриальная, 46, Нижневартковский филиал ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПРЯЖЕНИЯ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»
Дом ученых г. Хайфа

В.М. Зырянов, Н.А. Митрофанов, Ю.Б. Соколовский

RESEARCH OF VOLTAGE HARMONIC CONTAIN IN FREQUENCY CONVERTER

Novosibirsk state technical university

Haifa Scientists house

V.M. Zyryanov, N.A. Mitrofanov, Ju.B. Sokolovskiy

Oscillograms of the input and the output voltage of the frequency converter at different load conditions of the electric motor and frequency variations were received in the experimental setup, which consists of frequency converter Mitsubishi FRD740 - three-phase induction motor squirrel-cage rotor with capacity of 370W - load with the fan response, digital oscilloscope Aktakom ACK-3107. The voltage harmonic structure was calculated, the frequency spectrum was analyzed, and values of the coefficients of the higher harmonics and total harmonic distortion voltage curves were calculated. It was shown that the distortion coefficient at the frequency converter exit considerably exceeds admissible values. This greatly impairs the operation of electric motors and makes it necessary to take into account a distinct nonsinusoidality of supply voltage when selecting the type, capacity and operating conditions. First of all, it is actual when using general industrial engine series as a part of the frequency operated electric drives.

Keywords: *inverter, nonsinusoidality of voltage curve, frequency spectrum, harmonic structure, distortion coefficient, general industrial engine series*

На экспериментальной установке в составе: преобразователь частоты Mitsubishi FRD740 - трёх-фазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 370 Вт - нагрузка с вентиляторной характеристикой, цифровой осциллограф Aktakom ACK-3107, получены осциллограммы напряжения на входе и выходе преобразователя частоты при различных режимах нагрузки электродвигателя и вариациях частоты. Рассчитан гармонический состав напряжения, выполнен анализ частотного спектра, рассчитаны значения коэффициентов высших гармоник и коэффициентов искажения синусоидальности кривых напряжения. Показано, что коэффициент искажения на выходе преобразователя частоты значительно превышает допустимые значения. Это существенно ухудшает условия эксплуатации электродвигателей и делает необходимым учитывать ярко выраженную несинусоидальность питающего напряжения при выборе их типа, мощности и режима работы. Прежде всего, это актуально при использовании двигателей общепромышленных серий в составе частотно-управляемых электроприводов.

Значительная и всё более возрастающая доля частотного электропривода в промышленности позволяет существенно повысить энергоэффективность современного производства. С помощью преобразователей частоты (ПЧ) кардинально решается большинство задач регулирования скорости электродвигателей переменного тока, формируются практически любые характеристики электроприводов, повышается их КПД и, соответственно, значи-

тельно снижается удельный расход энергии на единицу конечной продукции.

В то же время ПЧ генерируют широкий спектр гармоник напряжений, как в питающую сеть, так и в двигатели, которые от них питаются. Вследствие этого снижается качество электроэнергии в системах электроснабжения со всеми вытекающими последствиями и возникает ряд проблем, связанных с влиянием высших гармоник на двигатели и основное оборудование энергосистемы [1].

Одна из этих проблем связана с ухудшением условий работы электродвигателей. Традиционно двигатели проектировались для работы от источников питания, качество электроэнергии которых соответствует требованиям ГОСТа. Один из важнейших показателей качества – коэффициент искажения синусоидальности напряжения K_U . Чем выше его значение, тем больше постоянные и переменные потери в двигателях. Наличие высших гармоник в питающем напряжении приводит к дополнительному нагреву двигателей за счёт повышенных потерь от вихревых токов и потерь на гистерезис, и, как следствие, ускоренному старению изоляции, что может привести к преждевременному выходу машины из строя, если это обстоятельство не учитывать [2].

Так же негативно высшие гармоники влияют на работу основного оборудования энергосистемы и потребителей электроэнергии, приводя к росту потерь мощности во всех элементах энергосистемы, увеличивая ёмкостные токи через изоляцию, загружая статические компенсаторы реактивной мощности дополнительными токами и в целом ухудшая качество электроэнергии со всеми вытекающими из этого последствиями.

Для оценки влияния ПЧ на качество электроэнергии в настоящей работе выполнен анализ гармонического состава напряжения преобразователя частоты Mitsubishi FRD 740 (без сглаживающих дросселей), питающего трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 370 Вт с нагрузкой, имеющей вентиляторную характеристику. Осциллограммы напряжения на входе и выходе ПЧ приведены на рисунках 1-4. Осциллографирование выполнялось цифровым осциллографом Актаком АСК-3107 с частотой дискретизации 50 кГц (1000 точек на период промышленной частоты).

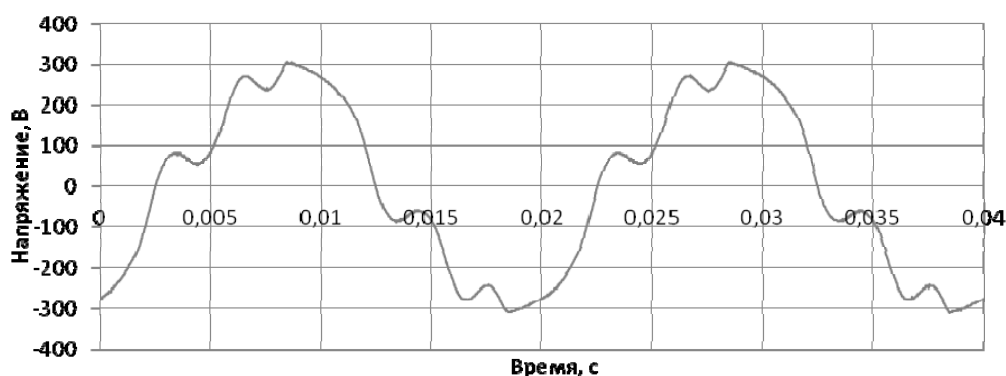


Рисунок 1 – Напряжение на входе преобразователя частоты ($f_2 = 50$ Гц, нагрузка – $P_{ном}$)

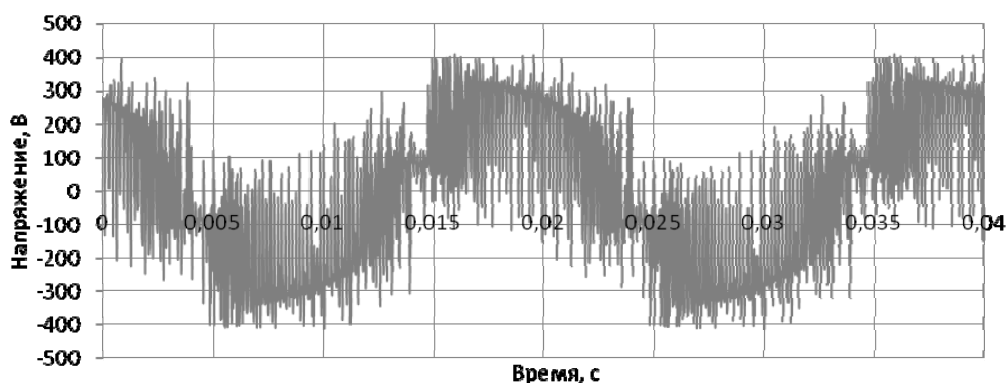


Рисунок 2 – Напряжение на выходе преобразователя частоты ($f_2 = 50$ Гц, нагрузка – $P_{ном}$)

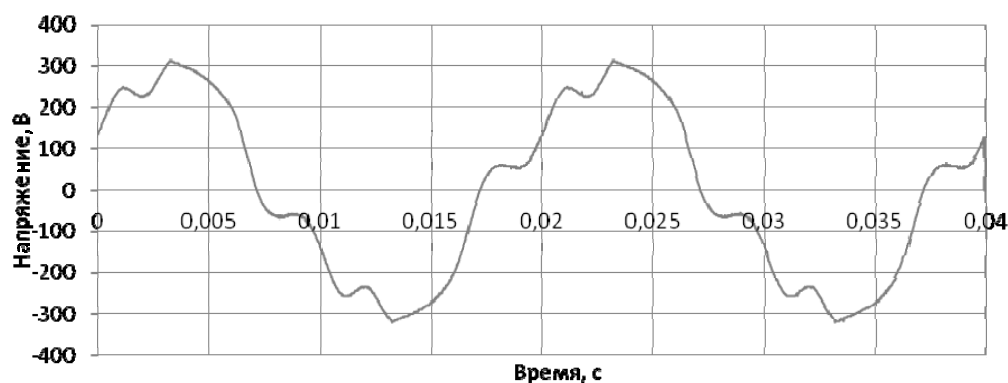


Рисунок 3 – Напряжение на входе преобразователя частоты ($f_2 = 40$ Гц, нагрузка – $P_{НОМ}$)

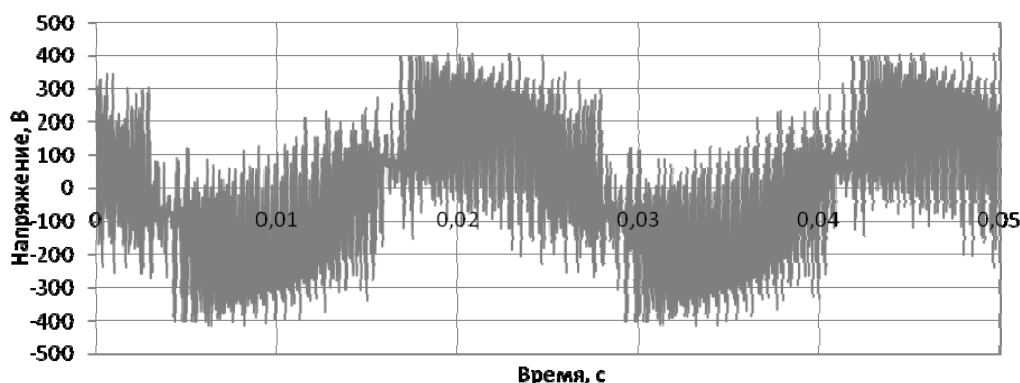


Рисунок 4 – Напряжение на выходе преобразователя частоты ($f_2 = 40$ Гц, нагрузка – $P_{НОМ}$)

Анализ гармонического состава проводился разложением исходных осциллограмм в ряд Фурье [3]. Количественно степень влияния каждой гармоники на форму кривой напряжения оценивается коэффициентом гармоники k_n , который показывает процентное отношение амплитуды n -ой гармоники к основной

$$k_n = \frac{U_n}{U_1} 100, \%,$$

где U_n – действующее значение напряжения (тока) n -ой гармоники;

U_1 – действующее значение напряжения (тока) 1-ой гармоники.

Степень искажения формы кривой напряжения от совокупного влияния всех гармоник оценивается коэффициентом искажения синусоидальности напряжения:

$$k_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^m U_n^2}}{U_1} 100, \%,$$

В таблицах 1 и 2 отображены коэффициенты гармоник, значения которых превышают 1% и которые в основном определяют форму кривых напряжения на входе и выходе преобразователя частоты при различных режимах работы частотного привода.

В таблице 1 указаны номера гармоник относительно частоты напряжения на входе ПЧ $f_1 = 50$ Гц.

В таблице 2 номера гармоник приведены относительно установленной в каждом опыте основной частоты f_2 на выходе ПЧ (там же указаны частоты этих гармоник).

В таблице 3 коэффициенты искажения рассчитаны в соответствии с ГОСТ 32144-2013 [4] на качество электроэнергии (до 40-ой гармоники, включительно).

В таблице 4 коэффициенты искажения рассчитаны с учётом всех гармоник спектра (до 500 гармоники включительно, что определяется принятой в эксперименте частотой дискретизации осциллографа).

Для иллюстрации степени достоверности разложения кривой напряжения на 500 гармонических составляющих была проведена обратная процедура: восстановление исходной кривой напряжения по выявленным гармоникам. На рисунках 5 и 6 представлены ос-

циллограммы напряжения на выходе ПЧ, полученные транспозицией 500 гармоник, рассчитанных по исходным осциллограммам. Практически полная идентичность рисунков 2 и 5 (при $f_2 = 50$ Гц), рисунков 4 и 6 (при $f_2 = 40$ Гц) подтверждает корректность выполненного гармонического анализа.

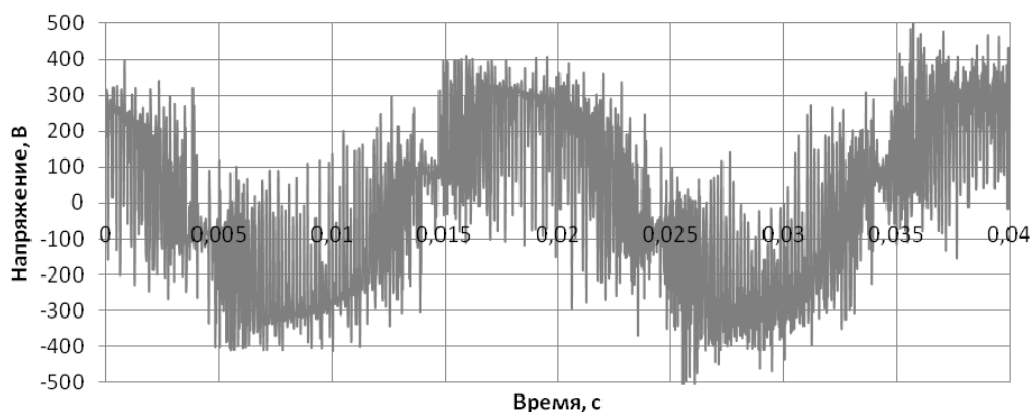


Рисунок 5 – Восстановленное напряжение на выходе ПЧ ($f_2 = 50$ Гц, нагрузка – $P_{ном}$)

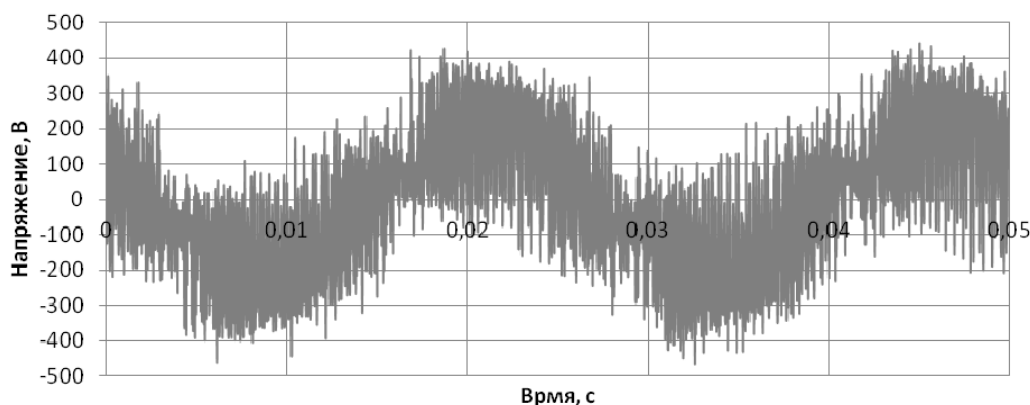


Рисунок 6 – Восстановленное напряжение на выходе ПЧ ($f_2 = 40$ Гц, нагрузка – $P_{ном}$)

Таблица 1 – Гармонический состав напряжения на входе преобразователя частоты при вариации частоты выходного напряжения f_2

№ гармоники	Частота гармоники, Гц	$f_2 = 40$ Гц			$f_2 = 50$ Гц		
		$P = P_H$	$P = 0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$	$P = P_H$	$P = 0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$
Коэффициент n -ой гармоники $k_n, \%$							
3	150	12,51	12,24	12,51	11,24	11,64	12,08
5	250	9,75	10,65	10,27	12,15	11,84	10,64
7	350	8,87	10,35	9,54	9,73	10,27	9,78
9	450	2,05	2,39	2,36	1,78	2,18	2,16
11	550	1,63	2,09	1,64	2,04	2,09	1,86

Таблица 2 – Гармонический состав напряжения на выходе преобразователя частоты при вариации частоты выходного напряжения f_2

$f_2 = 40$ Гц					$f_2 = 50$ Гц				
№ гармоники	f гармоники, Гц	P_H	$0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$	№ гармоники	f гармоники, Гц	P_H	$0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$
Коэффициент n -ой гармоники $k_n, \%$					Коэффициент n -ой гармоники $k_n, \%$				
3	120	9,57	9,98	10,36	3	150	8,47	8,49	8,68
146	5840	14,54	12,53	13,84	118	5900	31,82	33,40	33,73
148	5920	45,57	45,27	45,79	122	6100	33,69	33,08	34,72

Продолжение таблицы 2

$f_2 = 40$ Гц					$f_2 = 50$ Гц				
№ гармоники	f гармоники, Гц	P_H	$0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$	№ гармоники	f гармоники, Гц	P_H	$0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$
Коэффициент n -ой гармоники $k_n, \%$					Коэффициент n -ой гармоники $k_n, \%$				
152	6080	45,33	46,15	45,99	150	7500	10,86	9,27	9,71
154	6160	13,62	17,19	17,36	170	8500	10,81	11,16	11,16
158	6320	8,82	8,23	7,95	239	11950	17,34	15,96	17,81
190	7600	9,99	9,55	10,56	241	12050	14,74	17,22	16,60
196	7840	8,10	9,04	9,03	273	13650	5,18	5,95	7,37
210	8400	12,17	12,35	12,27	285	14250	7,83	7,07	5,76
293	11720	9,81	10,56	10,59	287	14350	5,50	5,01	7,31
295	11800	9,26	9,39	10,39	356	17800	16,74	17,54	16,48
299	11960	19,51	17,81	18,83	364	18200	17,46	16,13	18,10
301	12040	18,62	20,75	19,52	392	23520	10,65	9,80	9,82
307	12280	9,66	9,14	9,89	408	20400	9,72	11,01	10,03
345	13800	12,46	12,56	11,97	473	23650	7,85	7,41	4,95
355	14200	13,28	13,12	13,19	475	23750	12,99	10,09	10,66
448	17920	13,61	10,58	12,33	479	23950	6,41	7,11	6,65
452	18080	12,04	14,20	11,97	481	24050	6,10	6,07	5,88
454	18160	11,76	9,01	6,23	485	24250	8,62	11,40	12,94
496	19840	15,26	14,85	14,42	487	24350	7,76	8,09	10,03

Таблица 3 – Коэффициент искажения синусоидальности напряжения ПЧ по ГОСТ 32144-2013

$f_2 = 40$ Гц				$f_2 = 50$ Гц		
Контроль	P_H	$0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$	P_H	$0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$
Коэффициент искажения $K_U, \%$						
Вход ПЧ	18,38	19,53	19,03	19,42	19,78	19,07
Выход ПЧ	11,39	11,83	13,25	11,93	11,04	11,80

Таблица 4 – Коэффициент искажения синусоидальности напряжения ПЧ с учётом всего спектра гармоник (до 500-й, включительно)

$f_2 = 40$ Гц				$f_2 = 50$ Гц		
Контроль	$P = P_H$	$P = 0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$	$P = P_H$	$P = 0,8P_H$	Холостой ход, $P = 0$
Коэффициент искажения $K_U, \%$						
Вход ПЧ	18,43	19,64	19,05	19,56	19,8	19,19
Выход ПЧ	96,86	97,59	98,06	75,62	75,59	77,78

Анализ экспериментальных результатов, приведённых выше, показывает:

– Гармонический состав напряжения на входе преобразователя частоты мало зависит от нагрузки преобразователя частоты и от значения частоты на его выходе. В спектре напряжения присутствуют нечётные гармоники, номера которых определяются электрической схемой ПЧ. В исследуемом ПЧ преобладающими гармониками на входе являются 3,5,7,9 и 11.

– Коэффициент искажения синусоидальности напряжения на входе ПЧ намного превышает допустимое по ГОСТ значение 8% и несущественно зависит как от его режима нагрузки, так и от частоты на выходе ПЧ.

– На выходе ПЧ спектр частот меняется в широких пределах в зависимости от значения частоты f_2 . При её изменении в процессе регулирования скорости электропривода меняется и частотный спектр на выходе ПЧ.

– Гармонический анализ напряжения на входе ПЧ, выполненный в соответствии с требованиями ГОСТ 32144–2013 (до 40-й гармоники, включительно), даёт практически полное представление о степени искажения формы кривой напряжения (коэффициенты искажения K_U в таблицах 3 и 4 отличаются весьма незначительно).

– При сравнении значений K_U в таблицах 3 и 4 для напряжения на выходе ПЧ следует отметить – при учёте 40 гармоник (в соответствии с ГОСТ) K_U практически на порядок отли-

чается от K_U , рассчитанного с учётом всех выявленных гармоник (до 500-й). Если следовать требованиям государственного стандарта, то из рассмотрения выпадают гармоники высшего порядка, имеющие весьма значительные амплитуды и во многом определяющие качество напряжения на выходе ПЧ. ГОСТ 32144-2013 не требует обязательного учёта влияния гармоник выше 40-й, так как он ориентирован на качество электроэнергии в обычных распределительных сетях и не учитывает особенностей работы электродвигателей от ПЧ. В то же время, для достоверного и адекватного анализа условий работы электродвигателей от ПЧ требуется рассматривать весь спектр частот напряжения на выходе ПЧ (таблица 4).

– Коэффициент искажения синусоидальности напряжения на выходе ПЧ превышает допустимую величину значительно больше, чем на его входе, и к тому же он существенно зависит от частоты на выходе ПЧ. Зависимость коэффициента искажения от величины нагрузки при постоянстве частоты f_2 слабо выражена и ей допустимо пренебрегать при анализе.

Заключение. В настоящее время сложилась довольно распространённая практика - при замене (модернизации) устаревших типов электроприводов на частотно-управляемые приводы – не производить замену самого электродвигателя. Делается это либо по технико-экономическим основаниям, либо по другим соображениям, кажущимся обоснованными, но такие решения могут оказаться весьма опрометчивыми. Наличие высокочастотных составляющих в питающем напряжении не предусматривается при разработке двигателей общепромышленных серий, что может существенно сказаться на их сроке службы при работе от ПЧ. Обычно применяемые в таких случаях сглаживающие дроссели, устанавливаемые на входе и выходе ПЧ, существенно облегчают проблему гармоник напряжения, но не могут решить её полностью.

Результаты проведённого эксперимента показывают, что значения коэффициента искажения синусоидальности напряжения на выходе ПЧ, существенно превышают допустимую величину. При таком качестве напряжения условия работы электродвигателей значительно ухудшаются. Поэтому использовать электродвигатели общепромышленных серий без оценки допустимости их эксплуатации в условиях существенной несинусоидальности питающего напряжения, создаваемой ПЧ, не всегда допустимо. В любом случае следует учитывать, что КПД самого двигателя при этом уменьшается, увеличивается нагрев, а срок службы сокращается.

Оптимальный вариант – при работе двигателя от ПЧ – применять специализированные двигатели, например, серии АДЧР, которые рассчитаны на условия работы при несинусоидальном напряжении.

Если же для частотного привода выбирается двигатель любой другой серии, не рассчитанный для работы от ПЧ, его номинальная мощность должна быть завышена с учетом повышенных потерь и ухудшения условий работы изоляции. Для количественной оценки требуемой степени завышения номинальной мощности требуются дополнительные исследования в условиях действующих электроустановок на промышленных электроприводах, при наличии сглаживающих дросселей.

Защита оборудования энергосистемы и приёмников электрической энергии от влияния высших гармоник напряжения, генерируемых ПЧ в питающую сеть, в случае их значительной амплитуды, производится традиционными средствами – фильтрокомпенсирующими устройствами, ограничивающими амплитуды гармоник, на частоту которых они настроены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах промышленного электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. -4-е изд., перераб. и доп. -Москва: Энергоатомиздат, 2000. -331 с.: ил.
- 2 Вольдек, А.И. Электрические машины: учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений / А.И. Вольдек. -3-е изд., перераб. -Ленинград: Энергия, 1978. -832 с.: ил.
- 3 Макс, Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2 т. Т.1: пер. с фр. / Ж. Макс. -Москва: Мир, 1983. -312 с.: ил.
- 4 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: преобразователь частоты, несинусоидальность кривой напряжения, частотный спектр, гармонический состав, коэффициент искажения, двигатель общепромышленной серии

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зырянов Вячеслав Михайлович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Митрофанов Николай Алексеевич, бакалавр ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Соколовский Юлий Борисович, канд. техн. наук, ведущий научный консультант Дом ученых г.Хайфа

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»
320000, Израиль, г.Хайфа, ул. Перес 20, к.109, Дом ученых г.Хайфа

СИСТЕМА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УПРАВЛЕНИЕМ УРОВНЯМИ НАПРЯЖЕНИЙ НА ТОКОПРИЕМНИКАХ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.И. Сопов, А.П. Кузнецов, А.В. Иванов

TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM TO CONTROL THE VOLTAGE LEVELS ON THE ELECTRIC ROLLING STOCK PANTOGRAPHS

Novosibirsk state technical university

V.I. Sopov, A.P. Kuznetsov, A.V. Ivanov

The article presents the analysis of electric traction system adaptive type conversion stresses in merrttazinol zone. Shows the schematic and the characteristics of the elements of the system, the estimation of the electrical quantities.

Keywords: electric rolling stock, traction power supply system, high voltage wire, traction circuit, supply station, sectioning post

В статье приведен анализ системы тягового электроснабжения адаптивного типа с устройствами преобразования напряжений в межподстанционной зоне. Показаны схемы и характеристики элементов системы, дана оценка электрических величин.

В настоящий момент актуальной задачей является повышение скоростей движения, увеличение провозной и пропускной способности транспортных линий. На территории РФ примерно в равных долях эксплуатируются две системы тяги: постоянного тока 3 кВ и переменного тока 25 кВ, 50 Гц. Освоение растущего объема грузовых и пассажирских перевозок на линиях, электрифицированных на постоянном токе, невозможно без усиления системы тягового электроснабжения, в то время как система переменного тока обладает достаточными резервами и не требует усиления.

В ряде исследований о перспективных системах электрической тяги XXI века достаточно аргументировано показаны преимущества систем постоянного тока 6-24 кВ в сравнении с переменным током [1]. При этом показано, что система переменного тока не имеет декларированных преимуществ: снижение расходов электроэнергии и капитальных вложений, расхода меди. Фактически расходы электроэнергии оказались на 5-6% выше из-за меньших КПД электровозов переменного тока. Системы тягового электроснабжения (СТЭ) переменного тока на 12-15% дешевле, но электровозы в 1,5 раза дороже. Расход меди на контактную сеть в СТЭ постоянного тока в 2 раза больше, но в электровозе переменного тока меди на 5,5 т больше чем у постоянного тока.

Проблема повышения напряжения в контактной сети является наиболее актуальной для решения задач повышения скоростей движения, увеличения провозной и пропускной способности транспортных линий, снижения затрат на электрическую тягу. Решение проблемы может быть найдено в комплексе СТЭ и электроподвижного состава (ЭПС). При этом СТЭ более восприимчива к повышению напряжений.

В настоящее время имеет место большое разнообразие систем тягового электроснабжения, эксплуатируемых, проектируемых и разрабатываемых на перспективу. Это обусловлено специфическими особенностями электрических транспортных систем, развитием науки и техники. Разнообразие СТЭ стало возможным благодаря развитию силовых полупроводниковых приборов (СПП) для преобразований параметров электрической энергии (ЭЭ), а также совершенствованию коммутационного и силового оборудования. В этом ряду можно отметить в первую очередь полностью управляемые СПП – транзисторы, в частности модули IGBT, вакуумные выключатели, сухие трансформаторы [2]. С появлением конденсаторов двойного электрического слоя (КДЭС) большой ёмкости появились возможности более полного использования энергии электрических торможений. Развитие информационных технологий, микропроцессорной техники позволяет создавать автоматизированные системы высокой информативности. Таким образом, СТЭ получают новую технологическую базу, позволяющую коренным образом изменить технологические процессы [3].

В целом для СТЭ не решены вопросы управления режимами работы и обеспечения заданных параметров качества электроэнергии на токоприёмниках ЭПС. На основании анализа существующих схем питания и секционирования по критерию потерь напряжения на секции можно сформулировать требования к идеальной СТЭ. Это, вероятно, будут требования следующего порядка:

- поддержание постоянства заданного уровня напряжения на токоприёмниках ЭПС при различных фазах движения, с возможно наименьшими отклонениями;
- минимизация технологических расходов электроэнергии при транспортировке в проводящих сетях и преобразованиях в силовых элементах;
- полное 100 % использование энергии электрических торможений ЭПС.

Для выполнения приведённых требований необходимы СТЭ адаптивного типа. Адаптацию здесь следует понимать как непрерывную эволюцию СТЭ под энергопотребление поездов.

Основные устройства системы представляются следующим образом. На базовых подстанциях ТП1 и ТП2, ограничивающих межподстанционную зону транспортной линии размещаются преобразовательные агрегаты двух уровней напряжения: номинального (ПАН) и высокого (ПАВ).

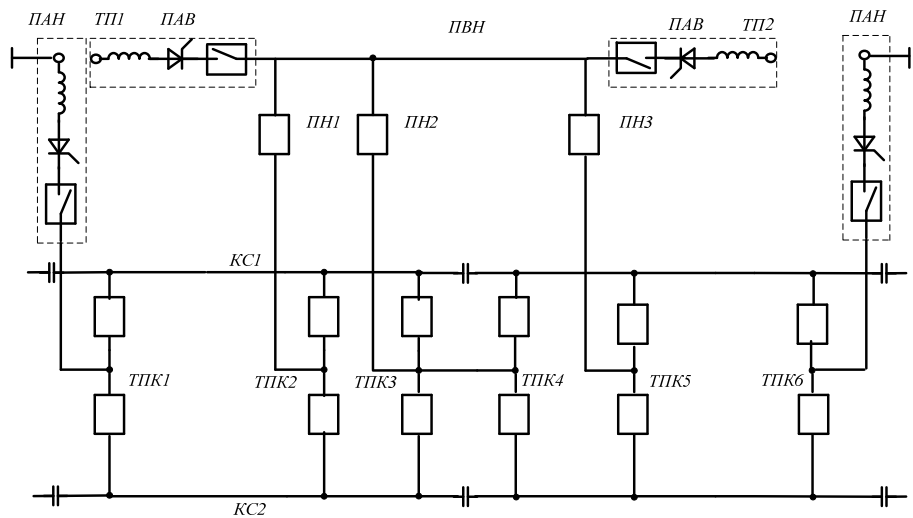


Рисунок 1 – Ключевая структура СТЭ адаптивного типа

Высокое напряжение принимается по технико-экономическим показателям, может быть равным четырёхкратному номинальному и более. Агрегаты высокого напряжения подключаются к проводу (ПВН), проложенному между ТП. ПВН может выполняться по опорам КС или кабелем.

В приведённой структуре транзисторные пункты соединения контактных подвесок (ТПК) выполняют функции питания секций контактной сети и защитных аппаратов. Таким образом, на подстанциях и пунктах преобразования напряжения (ПН) нет распределительных устройств постоянного тока. Избыточная энергия электрических торможений запасается в накопители, расположенные на ТПК, из которого поступает к ЭПС при тяговом режиме. КС между секционными разделами подключается к трём источникам питания. Числом источников питания секций можно варьировать. Выбор энергоэффективной схемы и режима напряжения на токоприёмниках определяется по координатам положения поездов на участках пути (секциях КС) и величинам тяговых токов. Положение поездов на линии, их типы определяются с использованием системы ГЛОНАСС. Управление схемами и режимами выполняется автоматизированной системой.

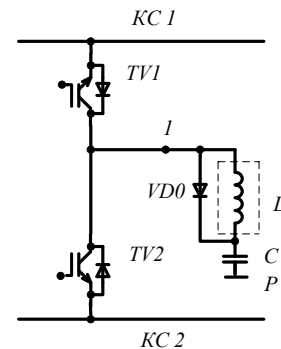


Рисунок 2 – Пункт соединения контактных подвесок (ТПК) параллельных путей (КС1, КС2) транзисторными ключами с ёмкостным накопителем

Схема транзисторного пункта соединения контактных подвесок (ТПК) с ёмкостным накопителем показана на рисунке 2.

Рассмотрим влияние длин секций на потери мощности и напряжения при двустороннем питании секции.

Средняя потеря мощности в секции при двустороннем питании определяется по формуле

$$\Delta P = \frac{n_0 I_3^2 r l}{6} + \frac{(n_3^2 - n_0) I_0^2 r l}{12} . \quad (1)$$

Среднее падение напряжения до токоприёмника любого поезда за все время его движения по секции при двустороннем питании определяется по формуле

$$\Delta U = \frac{I_0 r l}{6} + \frac{(n_0 - 1) I_0 r l}{12}. \quad (2)$$

Варьируя числом источников питания секций, мы изменяем число зон сети между источниками питания. Изменение потери мощности и напряжения на секции в связи с числом зон между источниками питания ЭПС представлены в таблице.

Таблица – Изменение потерь мощности и напряжения на секции в связи с числом зон между источниками питания ЭПС

Число зон сети между источниками питания	1	2	3	4
ΔP в долях	1	1/2	1/3	1/4
ΔU в долях	1	1/2	1/3	1/4

Зонное построение системы, как показывает анализ потерь мощности и напряжения за время движения поезда по участкам между источниками питания, обеспечивает эффективные режимы по показателям уровней напряжения на токоприемниках ЭПС.

СТЭ адаптивного типа, основанная на использовании транзисторных ключей, имеет ряд особенностей в сравнении с известными. Деление межподстанционной зоны на отдельные подзоны между питающими пунктами, энергия к которым передается на высоком напряжении, приводит к стабилизации напряжения на токоприёмниках ЭПС. Применение распределённого размещения накопителей энергии на линейных устройствах позволит использовать почти 100% энергии электрических торможений. Ключевая транзисторная схема позволит вести полное управление режимами электроснабжения поездов, обеспечивает гибкость и управляемость системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сопов, В. И. Системы электроснабжения электрического транспорта на постоянном токе: учебник / В. И. Сопов, Н. И. Щуров. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. -728 с. -(Серия «Учебники НГТУ»).
- 2 Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / А. Т. Бурков. -Москва: Транспорт, 1999. -464 с.
- 3 Третьяк, Т.П. Система электроснабжения постоянным током повышенного напряжения / Т.П. Третьяк, Л.Г. Кошечев, В.П. Довгаль // Электр. и тепловозная тяга. -1968. -№ 10. -С. 36-38.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электроподвижной состав, система тягового электроснабжения, провод высокого напряжения, тяговая сеть, пункт питания, пост секционирования*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Солов Валентин Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Кузнецов Александр Павлович, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Иванов Александр Валерьевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КРИВОЙ ТОКА УПРАВЛЯЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

И.А. Кремлев, А.А. Кузнецов, И.А. Терёхин, Р.Б. Скоков

ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE SHAPE OF CURRENT OF THE CONTROLLED CONVERTER OF ELECTRIC LOCOMOTIVE AC

Omsk state transport university
I.A. Kremlev, A.A. Kuznetsov, I.A. Teryekhin, R.B. Skokov

The conclusion of the main analytical expressions that provide a qualitative description of the current shape of AC electric locomotive with controlled multizone converter, taking into account the effect of the inductance of the traction power supply and back-EMF traction motors.

Keywords: traction network, AC electric locomotive, controlled multizone converter, shape of current

Приведен вывод основных аналитических выражений, позволяющих получить качественное описание формы сетевого тока электровоза переменного тока с управляемым многозонным преобразователем, учитывающих влияние индуктивности системы тягового электроснабжения и противо-ЭДС тяговых двигателей.

На электрифицированных железных дорогах с питанием электроподвижного состава (ЭПС) от контактной сети однофазного переменного тока преобразовательные агрегаты устанавливают непосредственно на ЭПС. Несмотря на то, что в настоящее время существуют опытные образцы ЭПС с асинхронным приводом, основной схемой силовых преобразователей отечественных электровозов переменного тока до сих пор остается однофазная мосто-

вая схема, реализованная на основе силовых тиристорov. Применение такого типа схем выпрямления подразумевает использование системы плавного зонно-фазового регулирования выпрямленного напряжения, подводимого к коллекторным тяговым двигателям [1].

В настоящее время на магистральных электровозах устанавливаются различные модификации выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП), однако поскольку принципы их работы схожи, то и электромагнитные процессы, протекающие в них, аналогичны.

В общем случае силовая часть выпрямительно-инверторного преобразователя имеет восемь вентильных плеч, последовательность работы которых достаточно подробно описана в соответствующей литературе [1, 2].

Проанализировав алгоритм работы схемы можно описать кривую выпрямленного и переменного тока на каждой из зон выпрямления аналогично описанию тока в неуправляемых выпрямителях [2, 3]. При этом необходимо учитывать непрерывность выпрямленного тока и то, что в течение периода коэффициент трансформации тягового трансформатора на зонах регулирования 2, 3 и 4 меняется два раза.

При анализе можно учесть, что индуктивность питающей сети (индуктивность цепи протекания сетевого тока электровоза) L_a приведена к вентильной (вторичной) обмотке трансформатора. Для получения качественных зависимостей, расчет удобно провести в относительных единицах. За базисное напряжение примем амплитуду питающего напряжения вентильной обмотки; за базисную индуктивность – индуктивность цепи протекания тока электровоза в цепи выпрямленного напряжения L_d ; за базисный ток I_{k2} – отношение базисного напряжения к базисному сопротивлению.

Относительное значение встречного напряжения обозначим τ , а соотношение индуктивных сопротивлений цепи переменного и постоянного тока через q

$$\tau = \frac{E_d}{\sqrt{2}E_2}; \quad (1)$$

$$q = \frac{L_d}{L_a}, \quad (2)$$

где E_d – противо-ЭДС тяговых двигателей;

E_2 – действующее значение питающего напряжения вентильной обмотки трансформатора ЭПС;

L_a – индуктивность цепи протекания сетевого тока электровоза.

Также как и неуправляемый выпрямитель в режиме выпрямления ВИП может находиться в двух рабочих состояниях – коммутации и одиночного горения вентилей, – поэтому для описания интервалов работы вентильных плеч можно использовать схемы замещения, аналогичные приведенным в [2, 3].

Введем обозначения α_{pi} – угол открытия вентилей на i -й зоне, α_0 – угол задержки открытия вентилей, задаваемый системой управления БУВИП (для расчетов можно принять $\alpha_0 = 9^\circ$), γ_{pi} – угол коммутации плеча, вступающего в работу, γ_2 – угол коммутации плеча, заканчивающего работу

$$\vartheta = \omega t.$$

На первой зоне регулирования внекоммутационные периоды соответствуют интервалам времени от $\alpha_{p1} + \gamma_{p1}$ до $\pi + \alpha_0$ и от $\pi + \alpha_{p1} + \gamma_{p1}$ до $2\pi + \alpha_0$. Коммутация в плечах, вступающих в работу, проходит в периоды от α_{p1} до $\alpha_{p1} + \gamma_{p1}$ и от $\pi + \alpha_{p1}$ до $\pi + \alpha_{p1} + \gamma_{p1}$, а коммутация в плечах, заканчивающих работу – в периоды от α_0 до $\alpha_0 + \gamma_2$ и от $\pi + \alpha_0$ до $\pi + \alpha_0 + \gamma_2$. В интервалах $\alpha_0 + \gamma_2 < \vartheta < \alpha_{p1}$ и $\pi + \alpha_0 + \gamma_2 < \vartheta < \pi + \alpha_{p1}$ ток вторичной (первичной) обмотки трансформатора равен нулю. За счет того, что образуется нулевой контур для протекания тока, обусловленного запасенной энергией в цепи выпрямленного напряжения, выпрямленный ток в эти периоды не будет равен нулю.

Формы переменного и выпрямленного тока на первой зоне можно найти, решив следующие дифференциальные уравнения, записанные в относительных величинах:

– в интервалах $\alpha_{p1} + \gamma_{p1} < \vartheta < \pi + \alpha_0$ и $\pi + \alpha_{p1} + \gamma_{p1} < \vartheta < 2\pi + \alpha_0$

$$\frac{di_d^*}{d\vartheta} = \frac{di_1^*}{d\vartheta} = \frac{\sin(\vartheta) - \tau_1}{1 + q_1}, \quad (3)$$

где τ_1, q_1 – соответственно противо-ЭДС и относительная катодная индуктивность на первой зоне;

– в интервалах $\alpha_{p1} < \vartheta < \alpha_{p1} + \gamma_{p1}$ и $\pi + \alpha_{p1} < \vartheta < \pi + \alpha_{p1} + \gamma_{p1}$

$$\frac{di_1^*}{d\vartheta} = \sin(\vartheta), \quad (4)$$

$$\frac{di_d^*}{d\vartheta} = -\frac{\tau_1}{q_1}. \quad (5)$$

– в интервалах $\alpha_0 + \gamma_2 < \vartheta < \alpha_{p1}$ и $\pi + \alpha_0 + \gamma_2 < \vartheta < \pi + \alpha_{p1}$

$$\frac{di_d^*}{d\vartheta} = -\frac{\tau_1}{q_1}. \quad (6)$$

После интегрирования и определения постоянных интегрирования в соответствии с методикой, приведенной в [4, 5], можно получить выражения, описывающие форму переменного тока на первой зоне регулирования. Аналогичность принципов работы многозонного преобразователя на второй, третьей и четвертой зонах позволяет вывести обобщенные выражения, описывающие форму тока на любой высшей (i -ой) зоне регулирования выпрямленного напряжения при любом числе зон.

При регулировании напряжения на i -ой зоне можно выделить два интервала одиночного горения вентилей и три коммутационных интервала в течение половины периода питающего напряжения.

В интервале $\alpha_0 + \gamma_2 < \vartheta < \alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)}$ происходит коммутация вентилей предыдущей, выведенной до конца, зоны регулирования. При этом сетевой ток электровоза будет описываться дифференциальным уравнением вида (3).

В момент $\vartheta = \alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)}$ начинается интервал одиночного горения вентилей зоны ($i-1$), которое продолжается до момента $\vartheta = \alpha_{pi}$ (α_{pi} – угол регулирования открытия тиристорov i -й зоны). Сетевой ток будет описан как

$$\frac{di_1^*}{d\vartheta} = \frac{\sin(\vartheta) - \tau_{(i-1)}}{1 + q_{(i-1)}}. \quad (7)$$

На интервале $\alpha_{pi} < \vartheta < \alpha_{pi} + \gamma_{pi}$ происходит коммутация, во время которой в работу вводится следующая полуобмотка трансформатора, и осуществляется переход на зону регулирования i , что опять дает уравнение (3).

С момента $\vartheta = \alpha_{pi} + \gamma_{pi}$ до $\vartheta = \pi + \alpha_0$ продолжается внекоммутационный период на i -ой зоне, в течение которого работают обмотки обеих зон. При этом

$$\frac{di_1^*}{d\vartheta} = \frac{\sin(\vartheta) - \tau_i}{1 + q_i}. \quad (8)$$

В момент $\vartheta = \pi + \alpha_0$ начинают закрываться вентили, определяющие работу на i -ой зоне, и в момент $\vartheta = \pi + \alpha_0 + \gamma_2$ коммутация завершается. На интервале $\pi + \alpha_0 < \vartheta < \pi + \alpha_0 + \gamma_2$ ток снова будет описан дифференциальным уравнением (3).

Проведенные рассуждения позволяют описать кривую тока в течение всего периода питающего напряжения. Постоянные интегрирования полученных уравнений можно найти из условия непрерывности выпрямленного тока. В результате были получены выражения, позволяющие описать форму сетевого тока многозонного преобразователя электровоза на i -ой зоне, которые сведены в таблицу.

В приведенных выражениях

$$a = \left[\frac{\tau_{(i-1)}(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)} - \alpha_{pi}) - q_{(i-1)} \cos(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)}) - \cos \alpha_{pi}}{1 + q_{(i-1)}} + \right. ; \quad (9)$$

$$\left. \cos(\alpha_0 + \gamma_2) + \cos \alpha_{pi} - \cos(\alpha_{pi} + \gamma_{pi}) + \frac{\tau_i(\alpha_{pi} + \gamma_{pi}) + \cos(\alpha_{pi} + \gamma_{pi})}{1 + q_i} \right] (1 + q_i)$$

$$b = \frac{a - \tau_i(\pi + \alpha_0) + \cos \alpha_0}{1 + q_i} - \cos \alpha_0. \quad (10)$$

Из полученных выражений видно, что работу преобразователя при принятых допущени-

ях однозначно определяют следующие основные параметры: минимальный допустимый угол регулирования α_0 , угол регулирования α_{pi} , относительная катодная индуктивность q_i , противо-ЭДС τ_i и углы коммутации γ_2 и γ_{pi} .

Таблица – Выращения, описывающие сетевой ток на i -ой зоне регулирования

Интервал ϑ	Функция $i_1^*(\vartheta)$
$\alpha_0 + \gamma_2 < \vartheta < \alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)}$	$\cos(\alpha_0 + \gamma_2) - \cos \vartheta$
$\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)} < \vartheta < \alpha_{pi}$	$\frac{\tau_{(i-1)}(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)} - \vartheta) - q_{(i-1)} \cos(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)}) - \cos \vartheta}{1 + q_{(i-1)}} + \cos(\alpha_0 + \gamma_2)$
$\alpha_{pi} < \vartheta < \alpha_{pi} + \gamma_{pi}$	$\frac{\tau_{(i-1)}(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)} - \alpha_{pi}) - q_{(i-1)} \cos(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)}) - \cos \alpha_{pi}}{1 + q_{(i-1)}} + \cos(\alpha_0 + \gamma_2) + \cos \alpha_{pi} - \cos \vartheta$
$\alpha_{pi} + \gamma_{pi} < \vartheta < \pi + \alpha_0$	$\frac{a - \tau_i \vartheta - \cos \vartheta}{1 + q_i}$
$\pi + \alpha_0 < \vartheta < \pi + \alpha_0 + \gamma_2$	$b - \cos \vartheta$
$\pi + \alpha_0 + \gamma_2 < \vartheta < \pi + \alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)}$	$-\cos(\alpha_0 + \gamma_2) - \cos \vartheta$
$\pi + \alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)} < \vartheta < \pi + \alpha_{pi}$	$\frac{-\tau_{(i-1)}(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)} + \pi - \vartheta) + q_{(i-1)} \cos(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)}) - \cos \vartheta}{1 + q_{(i-1)}} - \cos(\alpha_0 + \gamma_2)$
$\pi + \alpha_{pi} < \vartheta < \pi + \alpha_{pi} + \gamma_{pi}$	$\frac{-\tau_{(i-1)}(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)} - \alpha_{pi}) + q_{(i-1)} \cos(\alpha_0 + \gamma_2 + \gamma_{p(i-1)}) + \cos \alpha_{pi}}{1 + q_{(i-1)}} - \cos(\alpha_0 + \gamma_2) - \cos \alpha_{pi} - \cos \vartheta$
$\pi + \alpha_{pi} + \gamma_{pi} < \vartheta < 2\pi + \alpha_0$	$\frac{-a + \tau_i(\vartheta - \pi) - \cos \vartheta}{1 + q_i}$
$2\pi + \alpha_0 < \vartheta < 2\pi + \alpha_0 + \gamma_2$	$-b - \cos \vartheta$

Отметим, что в отличие от первой зоны, угол коммутации γ_2 для высших зон регулирования необходимо выразить через два угла $\gamma_{p(i-1)}$ и γ_{pi} . Его можно выразить также исходя из равенства вторичного тока нулю в момент $\vartheta = \pi + \alpha_0 + \gamma_2$, то есть применительно к i -ой зоне получим

$$\gamma_2 = \arccos \left[\frac{a - \tau_i(\pi + \alpha_0) + \cos \alpha_0}{1 + q_i} - \cos \alpha_0 \right] - \alpha_0. \tag{11}$$

Необходимо учитывать, что углы коммутации γ_{pi} зависят от коммутируемого тока и угла регулирования и определяются на основе численного решения трансцендентных уравнений. В соответствии с полученными выражениями построены аналитические кривые сетевого тока на различных зонах регулирования, некоторые из которых вместе с кривыми, полученными экспериментально, приведены на рисунке.

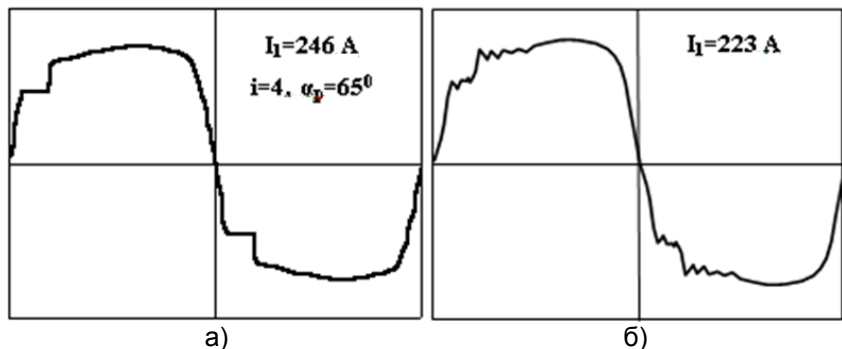


Рисунок – Кривые сетевого тока электровоза: а)-расчетные кривые тока многозонного преобразователя; б)-осциллограммы кривых тока, полученные экспериментально

Необходимо отметить, что в отличие от расчетных кривых, на экспериментальных в моменты завершения коммутации наблюдаются свободные колебания, которые объясняются взаимодействием электровоза с контактной сетью, обладающей распределенной емкостью [5]. Однако учитывая, что амплитуда данных колебаний значительно ниже амплитуд гармоник частотой до 450 Гц, можно сделать вывод, что полученные выражения являются прием-

лемыми для исследования формы кривой тока электровоза без учета влияния на него системы тягового электроснабжения, так как расчетные кривые дают удовлетворительную качественную сходимость с данными эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тихменев, Б. Н. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями / Б. Н. Тихменев, В. А. Кучумов. - Москва: Транспорт, 1988. -311 с.
- 2 Бурков, А.Т. Электронная техника и преобразователи / А.Т. Бурков. -Москва: Транспорт, 1999. -464 с.
- 3 Засорин, С.Н. Электронная и преобразовательная техника / С.Н. Засорин, В.А. Мицкевич, К.Г. Кучма. -Москва, 1981. - 319 с.
- 4 Каганов, И.Л. Электронные и ионные преобразователи / И.Л. Каганов. -Б. м.: Госэнергоиздат, 1956. -456 с.
- 5 Карякин, Р.Н. Тяговые сети переменного тока / Р.Н. Карякин. -Москва: Транспорт, 1964. -186 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тяговая сеть, электровоз переменного тока, управляемый многозонный преобразователь, форма тока*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кремлев Иван Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Кузнецов Андрей Альбертович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Терехин Илья Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Скоков Руслан Борисович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

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

ПОВРЕЖДЕНИЕ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ЭЛЕКТОВОЗОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»

А.П. Буйносов, Я.А. Мишин

ROLLING ELEMENT BEARING DAMAGE ELECTRIC LOCOMOTIVE ELEKTOVOZOV ELECTRIC SHOCK

Ural state university of railway transport

A.P. Buinosov, Ya.A. Mishin

The article describes the process of bearing damage traction current is a diagram of the ground high voltage electric and electric equivalent circuit excited with an alternating current.

Keywords: electric locomotive, wheel-motor block, bearings, electroerosion

Рассмотрен процесс повреждения подшипников тяговым током, приведена схема заземления высоковольтных цепей электровоза, а также электрическая схема замещения при протекании через него переменного тока.

Современный электроподвижной состав, несмотря на высокие технико-эксплуатационные показатели, имеет недостатки. Основная проблема железнодорожного транспорта – преждевременный износ деталей электровозов, который приводит к частичному или полному отказу отдельных систем и локомотива в целом [1].

Роликовые подшипники колесно-моторного блока электровозов работают в тяжелых условиях, так как помимо воздействия радиальных и осевых нагрузок, подвергаются различным видам износа – абразивному (из-за недостаточного количества смазки в узле) или коррозионному (при попадании воды в корпус подшипника). Другим негативным фактором, существенно влияющим на долговечность работы подшипника, является электрическая эрозия металла [2].

На первых электровозах постоянного тока ВЛ19 и ВЛ22 электрическая цепь заземлялась на кузов локомотива, и тяговый ток проходил в землю одновременно по нескольким параллельным цепям через буксовые, моторно-осевые и моторно-якорные подшипники.

С переходом на буксовые роликовые подшипники для предохранения от повреждения электрическим током были установлены заземляющие провода, соединяющие земляную шину счетчика электрической энергии с остовами отдельных тяговых двигателей. В связи с уменьшением количества параллельных цепей увеличился ток, проходящий через моторно-осевые и моторно-якорные подшипники, что привело к резкому увеличению износа моторно-осевых подшипников и повреждению током моторно-якорных подшипников.

Одним из первых мероприятий, направленных на снижение электроэрозионного износа моторно-осевых подшипников, являлось заземление электрической цепи на остовы всех тяговых двигателей двухсекционных электровозов ВЛ8 и ВЛ10. Это позволило снизить износ вкладышей моторно-осевых подшипников, но не обеспечивало надежную работу даже до

пробега электровоза 200 тыс. км (при установленном 600 тыс. км).

С целью повышения надежности работы подшипников на кафедре «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения были разработаны токоотводящие устройства, которые устанавливаются на буксы с торца оси колесной пары в шахматном порядке. То есть если на первой по ходу электровоза оси токоотводящее устройство установлено с левой стороны, то на следующей – с правой, затем снова с левой стороны и т.д. (рисунок 1). Равномерное распределение тока обеспечивается путем подбора сопротивлений за счет разной длины и сечений заземляющих проводов. На рисунке 1 буквой *S* обозначена площадь сечения проводов, а *L* – длина проводов.

Токоотводящие устройства обеспечивают протекание тока, минуя моторно-осевые, моторно-якорные и буксовые подшипники, благодаря такой конструкции тяговый ток проходя через тяговые двигатели, попадает на сборную шину, а оттуда распределяется по заземляющим проводам на торец оси колесной пары, дальше на колесо и в рельс [3, 4].

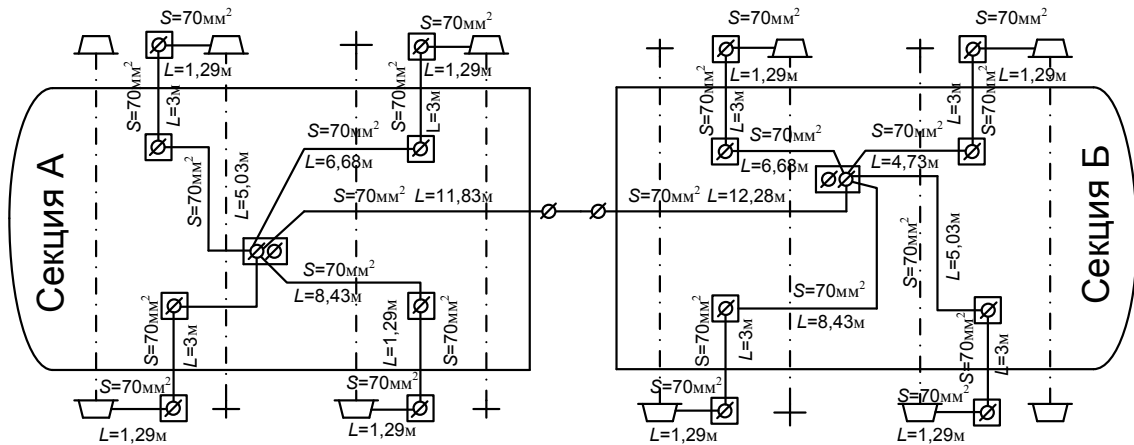
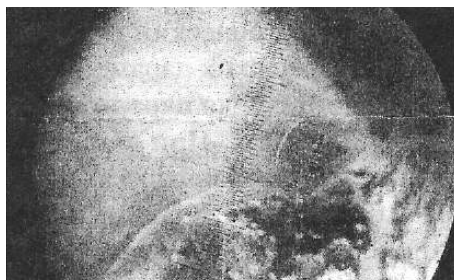


Рисунок 1 – Схема заземления высоковольтных цепей двухсекционного электровоза

Такое техническое решение позволило сократить повышенный износ моторно-осевых подшипников, но результаты вибродиагностики и комиссионных осмотров, проводимые в ремонтных депо Свердловской дирекции по ремонту тягового подвижного состава, показывают наличие характерных повреждений буксовых и моторно-якорных подшипников [5].

В подшипнике этот процесс возникает, когда тяговый ток попадает на наружное кольцо и при определенных условиях пробивает смазочную пленку в двух местах между роликом и наружным кольцом, и между роликом и внутренним кольцом. Дальнейший путь тока определяется узлом, где установлен подшипник. Ролик подшипника попеременно является или катодом, или анодом. При дуговом разряде происходит вырывание металла с поверхности катода, а при искровом – с поверхности анода, иначе говоря, в подшипнике происходит процесс микросварки роликов, внутреннего и наружного колец [6].

Расплавленный металл перемещается в смазочном материале, в какой-то момент попадает в контакт между роликом и дорожкой качения, вызывая радиальное перемещение роликов, и, следовательно, неравномерное распределение нагрузки. В результате на роликах и кольцах образуются кратеры, «раковины» и «бороздки» (рисунок 2), также негативному воздействию подвергается и смазочный материал: под действием тока основное масло и присадки окисляются и расщепляются, что вызывает преждевременное «старение» смазки.



а)



б)

Рисунок 2 – Повреждение роликов подшипников электрическим током: а)-раковины; б)-пятна

Исследования показали, что на поврежденных участках имеются светлые пятна, имеющие структуру вторичной закалки, которые в последствие могут развить трещины контактной усталости. Размеры и характер дефектов напрямую зависит от величины тока, состава и состояния среды, в которой работает контактная пара.

Согласно теории электрических контактов, поверхностный контакт может осуществляться тремя способами:

- металл по металлу – когда электрический ток протекает без заметного переходного сопротивления;
- квазиметаллический контакт – металлические поверхности разделены тонкой пленкой, которая легко пропускает ток благодаря туннельному эффекту, не зависящему от проводимости материала;
- контакт через слой толстой пленки – сопротивление будет высокое, в зависимости от толщины пленки и удельного сопротивления смазки [7].

Контакт роликового элемента и дорожки качения в неподвижном подшипнике носит квазиметаллический характер, и относительно большая площадь контакта обеспечивает протекание тока без повреждений. На основе гидродинамической теории смазки, во вращающемся подшипнике, элементы качения и дорожки качения разделены слоем смазки так, например, средняя толщина смазочной пленки для роликового подшипника равна 0,1–2,0 мм.

Стоит отметить, что характер повреждения зависит не только от величины тока, но и от рода тока. Было доказано, что на переменном токе сопротивление границы «металл-смазка» можно описать с помощью трех последовательно соединенных параллельных R-C цепей. Одна из цепей описывает объемную смазку, в то время как две другие – контактное электрохимическое взаимодействие границы «металл-смазка».

Емкость подшипника может быть рассчитана исходя из ширины контакта и минимальной толщины пленки на основе конкретной геометрии подшипника и диэлектрической проницаемости смазки. Сопротивление подшипника может быть рассчитано с помощью удельное сопротивление смазочного материала, так как подшипниковая сталь является проводником с малым сопротивлением.

Исследования, выполненные австрийскими учеными [8] показали, что удельное сопротивление типичных смазочных материалов, используемых в подшипниках, является крайне нестабильным под воздействием электрического тока. Некоторые смазки могут «восстанавливать» свое сопротивление после того, как электрическое поле исчезает, в то время как другие не могут восстанавливать свое сопротивление после долгого времени. Эти изменения удельного сопротивления с приложенного напряжения и времени работы, может быть связано с характером примесей и видом добавок в смазке, кроме того от структуры, плотности и сжимаемости.

На основании выше изложенного, подшипник можно представить в виде электрической схемы замещения (рисунок 3). На рисунке комплексные сопротивления $Z_{вк}$ и параллельных цепей R-C, представляют границы между внутренними и наружными дорожками качения, соответственно, $Z_{см}$ - комплексное сопротивление смазки, $Z_{г}$ - комплексное сопротивление в границе между смазкой и дорожкой качения. $R_{вк}$, $R_{нк}$ и $R_{р}$ сопротивление внутреннего и наружного кольца подшипника, и ролика, соответственно. Из-за шероховатости поверхностей колец и роликов, нестабильности смазочной пленки в какой-то момент может произойти короткое замыкание. Этот случайный процесс может описываться с помощью нелинейного резистора $Z_{контакт}$.

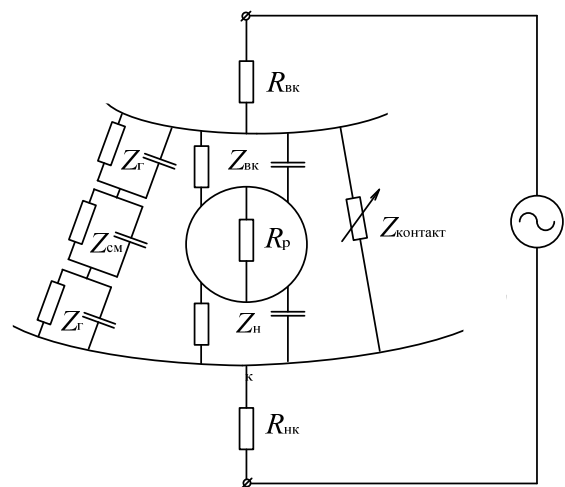


Рисунок 3 – Электрическая схема замещения подшипника

Фактически подшипник работает как активно-емкостная цепь, когда к подшипнику прикладывается напряжение. Во вращающемся подшипнике, расположение несущих роликов и резистивное состояния смазки вызывает изменение сопротивления и емкости подшипника

со временем. Случайное соприкосновение роликов подшипника, а также изменяющееся сопротивление консистентной смазки невозможно предсказать.

Переменный ток имеет форму синусоиды, а постоянный не изменяет своего направления, поэтому нельзя утверждать, что характерные процессы, происходящие в подшипниках при протекании переменного тока аналогичны процессам, происходящим при протекании постоянного тока. Кроме того, параметры смазки и ее поведение при протекании токов постоянной величины не изучены.

Таким образом, необходимо исследовать свойства консистентной смазки, которая широко используется для смазки подшипников колесно-моторного блока электровозов, чтобы определить ее диэлектрические свойства и величину тока, при которой происходит разрушение смазочной пленки и повреждение подшипника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Буйносов, А.П. Повышение долговечности опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электровоза / А.П. Буйносов, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2012. -№ 6. -С. 151-154.
- 2 Буйносов, А.П. Анализ надежности узлов электровозов ВЛ11 на основе принципа Парето и диаграммы Исикавы / А.П. Буйносов, Я.А. Мишин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№ 1. -С. 317-320.
- 3 Повышение надежности роликовых подшипников тяговых двигателей электровозов постоянного тока / А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Е.А. Гузенкова, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2013. -№ 1. -С. 117-120.
- 4 Разработка способа предупреждения монтажных задиров якорных подшипников тяговых электродвигателей электровозов / А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2013. -№ 1. -С. 121-124.
- 5 Буйносов, А.П. Анализ использования вибродиагностического комплекса ОМСД-02 в ремонтном локомотивном депо / А.П. Буйносов, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2013. -№ 5. -С. 126-129.
- 6 Исследование причин повреждения подшипников тяговых двигателей электровозов / А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2013. -№ 1. -С. 113-116.
- 7 Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. -Москва: Изд-во иностр. лит., 1961. -464 с.
- 8 Surface analysis on rolling bearing after exposure to defined electric stress / T. Zika, I.C. Gebeshuber, F. Buschbeck, G. Preisinger. M. Groschl // Proc. IMechE. -2009.-Vol. 223, Pt. J: J. Engineering Tribology. -P. 787-797.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электровоз, колесно-моторный блок, подшипники, электроэрозия

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Буйносов Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

Мишин Ярослав Александрович, стажер ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

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

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ДЕФИЦИТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЗОНЕ АЛТАЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

А.Г. Русина, А.В. Романов, Е.А. Совбан, Т.А. Филиппова

DEVELOPMENT OF THE SOLUTION PRINCIPLES OF THE DEFICIENCY DECREASE PROBLEM OF THE ELECTRIC POWER IN THE ZONE OF ALTAI FOR PRODUCTIVE FORCES DEVELOPMENT

Novosibirsk state technical university

A.G. Rusina, A.V. Romanov, E.A. Sovban, T.A. Filippova

Modern problems of creating new methods of design of hydropower plants are considered in this article. They are associated with modern conditions, investment decisions, computerization, CAD etc. This is the only way from ideas about creating hydropower plants to its implementation.

Keywords: hydropower resources, indetermination, computer technologies

Рассматриваются новые проблемы создания методики проектирования гидростанций. Они отражают современные условия - инвестиционные решения, компьютеризацию, САПР и др. Это единственный путь от идей о создании ГЭС до ее реализации.

Энергосистема Алтай дефицитная. Уже сейчас дефицит доходит до 70-80%. Без развития энергетики невозможно решать задачи развития промышленности, транспорта, сельского хозяйства. В перспективных планах предусматривается развитие алтайских отраслей производства. Важное значение уделяется использованию гидроэнергетических ресурсов, особенно в тех районах, где других ресурсов мало. Большинство развитых и активно развивающихся стран уделяют особое внимание использованию гидроэнергетических ресурсов. Например, Исландия, Норвегия, Канада и Швеция, на гидроэлектростанциях получают почти всю выработку потребляемой электроэнергии в этих странах.

В России зоной с богатыми гидроэнергетическими ресурсами является Алтай. По наиболее крупному водотоку р. Катунь они оцениваются следующими данными[1]:

- число станций (10);
- установленная мощность одной станции (300-1000 МВт);
- установленная мощность всех станций (примерно 3000 МВт);
- среднегодовая выработка электроэнергии (примерно 20 000 млн. кВт·ч)

Все станции этого каскада имеют сезонное регулирование стока. Целесообразность строительства гидростанции и выбор ее параметров определяется инвестиционным проектом. В плановом хозяйстве СССР был установлен строжайший цикл рассмотрения проектов – 20, 15, 10, 5 лет (пятилетки). Сейчас этот цикл строго не регламентирован. Главная цель инвестиционных проектов – определение целесообразности строительства ГЭС.

Неопределенность и ее моделирование. Отдаленность выбора решений по проекту гидростанций (до 20 лет) ставит эту задачу в разряд неопределенных. Большое количество факторов, которые необходимо учитывать, а также огромное количество возможных решений значительно усложняет разработку проекта гидроэлектростанции. Она зависит от времени упреждения, информации, и ее вида, прогнозирования как предвидения события, критериев оценки решения [2].

Основными факторами неопределенности являются использование проектируемой ГЭС в энергосистеме (ЭЭС). От этого зависит степень использования гидроэнергетических ресурсов и параметры – установленная мощность и выработка электроэнергии, гидромеханическое и электрическое оборудование, гидротехнические сооружения и др. И все это связано с трудоемкими и сложными расчетами, которые можно осуществить только в САПР (в системе автоматизированного проектирования). Современные компьютерные технологии позволяют создавать новые системы САПР и они существенно отличаются от известных в прошлое время.

Основные блоки учета неопределенности следующие:

- математические модели рассматриваемых задач;
- информация и ее обработка – неопределенная, вероятностная, детерминированная.

По мере уменьшения времени уточнения проекта форма информации изменяется;

- модели прогнозирования основных и дополнительных прогнозов, которые также изменяются во времени;
- имитационные модели получения альтернатив;
- расчеты рисков решений и их оценка.

Это огромное количество сложных расчетов и без компьютерных систем их выполнить невозможно.

Кибернетические принципы проектирования [3]. В период 1980-1985 гг. активно обсуждались кибернетические принципы управления в области энергетики. Невозможность их реализации определялась вычислительной техникой. И сейчас этого ограничения нет. Кибернетика из теоретической области суждений сейчас перешла в область прикладного применения, что связано с компьютеризацией. Кибернетические принципы требуют существенного развития компьютерных систем.

На основе анализа многих работ назовем основные вопросы кибернетического управления при проектировании ГЭС.

– Учет новых информационных возможностей является информационным. Это требует использования современных информационных технологий. От неопределенной информации (для 20 лет). Осуществляется переход к вероятностной (для 5-7 лет) и детерминированной (до 5 лет).

– Оптимизация – является базовым принципом принятия решения. Управление все больше становится многокритериальным (по минимуму затрат, максимуму прибыли, максимуму КПД и др.). Сохраняя однокритериальную основу решения многих задач необходимо находиться в концепции многокритериальности.

– Экстремум сложной многоцелевой функции отражает свойства системы, которые имеют большие различия. Чаще всего такие задачи не могут быть строго формализованы и без участия человека получить решения невозможно. Это возможно только при использовании интерактивного режима расчетов.

– Прогнозирование приобретает все большую роль в управлении. Без комплекса основных и дополнительных прогнозов нельзя разрабатывать планы.

– Трудности формализации задач увеличиваются, и роль человека в их преодолении усиливается.

– В кибернетических системах применяется главным образом модели задач, в которых

не раскрывается суть задачи и особенности системы. А главное – это исследование поведения системы. Требуются интерактивные технологии.

Без САПР решать задачи проектирования ГЭС сейчас недопустимо. Нельзя же применять те технологии, которые использовались 20 лет назад.

Фрагменты новых САПР. Создание единого информационного пространства. Система включает в себя несколько блоков:

- взаимосвязанные задачи с различными временными параметрами: модель задачи при развитии во времени и без;
- информационное обеспечение задач. База данных включает информацию: гидроэнергетическую, макроэкономическую и пр. Сейчас это возможно в автоматизированном режиме;
- блок прогнозирования обеспечивает составление всех необходимых видов прогнозов;
- блок реализация интерактивного режима.

Создание графического изображения. Рассматривается пример применения современных информационных технологий разработанный для автоматизации проектирования главной схемы электрических соединений гидроэлектростанций. Для выполнения подобных расчетов необходимо разработать программу, используя один из современных языков программирования (например С#).

На программу будут возложены следующие задачи:

– Обработка исходных данных. Для сложных расчетов, связанных с необходимостью ввода относительного большого объема исходной информации, как в случае ввода данных многолетнего наблюдения за параметрами реки, более удобно организовывать ввод этой информации в виде загрузки отдельного файла, который удобно хранить, редактировать и передавать. В качестве формата файла был выбран формат «.txt», так как он прост в редактировании, не содержит избыточной информации и поддерживается большинством операционных систем и компьютеров.

– Выполнение промежуточных вычислений. При написании сложной программы, выполняющей большой объем различных вычислений, удобно применять специальные методы, позволяющие быстро ориентироваться в программном коде и редактировать отдельные его части без нарушения работы остальных частей. Для этих целей рассматриваемая программа разбита на блоки, каждый из которых выполняет свою конкретную задачу (расчет количества генераторов, автоматизированный подбор подходящих трансформаторов, расчет токов короткого замыкания и т.д.).

– Работа с базами данных. В процессе проектирования, программе необходимо будет выполнить выбор основного оборудования схемы (например, выбор трансформаторов блоков и автотрансформаторов связи). Для этого требуется наличие базы данных такого оборудования, к которой и сможет обращаться программа. Такие базы данных также как и исходные данные удобней выполнить в виде отдельных файлов, например в формате .txt.

– Формирование альтернативных вариантов решений. При проектировании главной схемы электрических соединений ГЭС необходимо рассмотреть различные возможные варианты схем присоединения блоков генераторов к распределительным устройствам повышенного напряжения. Для рассмотрения альтернативных вариантов удобно применять такие элементы языков программирования как массивы, индекс которого будет отвечать за номер рассматриваемого варианта.

– Вывод результатов работы программы в текстовом и графическом виде. При выполнении программой сложных многоступенчатых расчетов желательно иметь возможность отслеживания промежуточных результатов вычислений. Это позволит оценивать правильность хода вычислений, а также наглядно демонстрирует логику решений, которые принимает программа. Окончательные же результаты расчетов должны быть выведены в виде не только удобном для их анализа, но также удобном и для дальнейшей работы с ними. Кроме того, рекомендуется предусмотреть возможность редактирования окончательных результатов в случае необходимости.

Так как результатом вычислений программы будет являться схема главных электрических соединений гидроэлектростанции, то, как и другие схемы, наиболее удобно будет представить ее в формате одной из программ, предназначенных для автоматизированного проектирования и черчения, наиболее распространенной из которых является AutoCAD. Для этого необходимо разработать механизм взаимодействия разрабатываемой программы с AutoCAD для вывода результата расчетов. Прототип данного механизма уже был разработан в рамках данной работы [4].

Дадим некоторые детали данной работы. Выбранный язык программирования должен предусматривать ввод/вывод информации в удобной для ее анализа/редактирования форме и возможность компиляции исполняемого файла. Под данные требования подходит ряд языков программирования, среди которых отметим следующие: С++ и С#. С++ является одним из наиболее распространенных языков программирования и обладает колоссальными возможностями. С# является языком, продолжающим развитие идей С и С++, но имеющий и свои особенности и дополнительные возможности в плане программирования. Именно он был выбран для разработки программного решения.

Заключение. Из краткого изложения предыдущего текста сделаем некоторые принципиальные выводы научного содержания.

– Для создания методики проектирования ГЭС необходимо в числе первоочередных вопросов рассматривать компьютерные системы и информационные технологии. Это требует применения новых научных принципов моделирования, нового научного аппарата и программирования. Это САПР нового поколения.

– Инвестиционный проект сейчас определяет решение «быть или не быть» новой ГЭС. Для условий ГЭС инвестиционный проект не разработан. Имеется только его общая структура. Необходимо применять имеющуюся методику проектирования ГЭС, которая использована проектными организациями в прошлом, но в рамках инвестиционного проекта.

– Необходимо учитывать риск принимаемых решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Энергетические ресурсы СССР. Гидроэнергетические ресурсы. -Москва: Наука, 1966. -599 с.
- 2 Гидроэнергетика: учеб. пособие для вузов по направлению подготовки 140200 "Электроэнергетика" / Т.А. Филиппова, М.Ш. Мисриханов, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2011. -640 с.
- 3 Русина, А. Г. Режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учебник / А. Г. Русина, Т. А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2014. -398 с.
- 4 Романов, А. В. Особенности проектирования электрической части гидроэлектростанций / А. В. Романов // Альм. соврем. науки и образования. -2013. -№ 2 (69). -С. 154-155.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *гидроэнергетические ресурсы, неопределенность, компьютерные технологии*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Русина Анастасия Георгиевна, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

Романов Александр Вадимович, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»

Совбан Екатерина Андреевна, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»

Филиппова Тамара Арсентьевна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, СНИЖАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ТРЕХФАЗНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

П.В. Морозов

RELIABILITY ANALYSIS OF TRANSFORMER CONVERTERS THAT REDUCE THE INFLUENCE OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEMS ON THREE-PHASE POWER SYSTEM

Novosibirsk state technical university

P.V. Morozov

The asymmetry of the three-phase network currents in the connection points of traction substations is determined by the structure of the transformer converters. The impact of structural reliability traction transformer converters on functioning of the three-phase network is explored. Reliability improvement by Scott transformer converters is considered.

Keywords: Scott transformer, device power leveling, reliability of power supply systems

Несимметрия токов в трехфазной сети в точках присоединения тяговых подстанций определяется структурой трансформаторных преобразователей. Исследуется влияние структурной надежности тяговых трансформаторных преобразователей на функционирование трехфазной сети. Рассматривается ее повышение за счет трансформаторных преобразователей Скотта.

В системах тягового электроснабжения переменного тока для обеспечения допустимой несимметрии и несинусоидальности в первичной трехфазной сети применяют преобразователи на основе однофазных трансформаторов, трехфазных трансформаторов, комбинаций однофазных и трехфазных трансформаторов, а также трансформаторов по схеме Скотта в

качестве точки присоединения тяговой сети к трехфазной сети [1]. Структура этих преобразователей влияет на их надежность.

Одним из важнейших вопросов, определяющих надежность и экономичность работы системы электроснабжения, является резервирование ее элементов. Недостаточный резерв ведет к понижению надежности, а избыточный – к понижению экономической эффективности. Поскольку в области электроснабжения электрифицированных железных дорог такие исследования выполнены для существующих систем электроснабжения, то для принципиально новой системы электроснабжения надежность лучше всего рассматривать как один из показателей экономической эффективности.

Вопросы резервирования в системе электроснабжения решаются на основании нормативных документов, где указывается, каким способом и в какой степени надлежит осуществлять резервирование [2]. Резервирование в системе первичного электроснабжения осуществляется таким образом, что выход из строя любого из элементов не вызывает перерыва в питании потребителей 1-й категории. Выход из строя любой линии электропередачи не должен вести к перерыву движения на линии.

Для тяговых подстанций осуществляют резервирование, как отдельных элементов оборудования, так и резервирование подстанции целиком. Остановимся только на резервировании основного оборудования тяговых подстанций, определяющего ее мощность и входящего в экономическое сравнение при различных вариантах.

Основное внимание будет уделено резервированию трансформаторов. От степени резервирования зависит результат сравнения экономических показателей различных вариантов подстанций. Резерв по мощности считается достаточным для обеспечения надежности, если при отключении одного трансформатора или всей подстанции обеспечивается нормальное функционирование системы электроснабжения железной дороги.

Рассмотрим конкретные структуры тяговых трансформаторных преобразователей.

Наименее надежным является комбинированный преобразователь, состоящий из однофазного и трехфазного трансформатора, поскольку одна из фаз трехфазного трансформатора, как правило, перегружена [3].

На подстанциях с двумя однофазными трансформаторами устанавливается один резервный трансформатор [4], что обеспечивает 100%-й резерв. В случае применения трансформатора Скотта требуется либо резервирование всего трансформатора, либо расположение подстанций на таком расстоянии друг от друга, чтобы при выходе из строя одной подстанции ее нагрузка распределялась на соседние подстанции. Таким образом, главнейшими показателями надежности тяговой подстанции являются такие показатели как вероятность безотказной работы [5]. Кроме резервирования целесообразно оптимизировать межремонтные сроки.

Устройство уравнивания мощности (УУМ) [6] на вторичных обмотках трансформатора Скотта, которое служит для обеспечения высокого качества электроэнергии при неравномерных нагрузках, соответствует требованиям к проектированию и эксплуатации системы тягового электроснабжения с напряжениями 2×25 кВ Р 612/6 [7] части п. 1.4, который предписывает применение необслуживаемых и малообслуживаемых устройств управления на основе микропроцессоров. Резервирование трансформатора Скотта ведет к увеличению капитальных затрат на 12 млн. руб. [8]. В то же время, применение дополнительного трансформатора на подстанции с двумя однофазными трансформаторами ведет к увеличению капитальных затрат на 6 млн. руб. [8]. Расчеты показывают, что срок окупаемости при 100% резервировании увеличивается на 2 года и составляет приблизительно 5 лет, что не превышает допустимого значения 8 лет.

В качестве альтернативы резервированию следует рассматривать оптимизацию межремонтных интервалов для трансформатора Скотта, которая представляет собой способ повышения структурной надежности.

Анализ структурной надежности сводится к вычислению вероятности безотказной работы в течение заданного времени с учетом интенсивности отказов для конкретной структуры трансформаторного преобразователя. Резервирование подразумевает параллельное соединение элементов. Отказ электроснабжения в этом случае имеет место, если неисправными оказались все элементы. Поскольку трансформаторный преобразователь представляет основной интерес, число расчетных элементов сводится к числу трансформаторов в соответствии с оценкой Литвака-Ушакова. Согласно этой оценке повышение надежности отдельных элементов не ухудшает надежности всей системы. При резервировании уменьша-

ется вероятность отказов типа «обрыв», сопровождаемых разрывом электрической цепи по месту элемента.

Дальнейшая оценка показателей структурной надежности выполняется с учетом следующих ограничений и допущений, характерных для систем с большим сроком службы: отказы элементов независимы; длительности и вероятности безотказной работы описываются экспоненциальными законами распределения; интенсивности отказов зависят от времени; изменения вероятностей отказов считаются незначительными.

Структура системы из трансформаторных преобразователей на тяговой подстанции представляет собой структуру типа m/n [2] При такой структуре система работоспособна, если функционируют не менее m элементов. Вначале рассмотрим подстанцию из двух однофазных трансформаторов с одним резервным, для которой $n = 3$, $m = 2$. Вероятность минимального количества отказавших элементов m из n , при котором подстанция становится неработоспособной, вычисляется по формуле

$$P(m/n) = C_n^m q^m p^{n-m}, \quad (1)$$

где q – вероятность отказа одного элемента;

$$p = 1 - q; C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}.$$

Для рассматриваемой подстанции выражение (1) примет вид

$$P(2/3) = C_3^2 q^2 p, \quad (2)$$

Для подстанции с одним основным и одним резервным трансформатором Скотта работоспособность всей подстанции обеспечивают как минимум две обмотки из четырех. В данном случае формула (1) принимает вид

$$P(3/4) = C_4^3 q^3 p. \quad (3)$$

Поделим выражение (3) на (2)

$$\frac{P(3/4)}{P(2/3)} = \frac{4}{3} q. \quad (4)$$

При $q = 0,65$ отношение

$$\frac{P(3/4)}{P(2/3)} = 0,85.$$

Следовательно, для подстанции по схеме Скотта вероятность потери работоспособности ниже на 15%, чем у подстанции с однофазными трансформаторами, применение трансформаторов Скотта в первую очередь повышает режимную надежность за счет снижения коэффициента несимметрии почти до нуля. Функция надежности (вероятность безотказной работы) трансформатора Скотта имеет вид [9]

$$R(t) = e^{\left(-\frac{t}{150}\right)^{13,52}}, \quad (5)$$

в соответствии с которой время наработки на отказ составляет 150 месяцев, то есть более 10 лет. Это означает, что вероятность безотказной работы в течение 10 лет составляет всего 0,35, то есть вероятность отказа за этот промежуток времени $q = 0,65$.

Для увеличения вероятности безотказной работы необходимо выполнять периодический ремонт. Уменьшение межремонтного интервала до 72 месяцев (7 лет) дает вероятность безотказной работы 99%. Следовательно, эксплуатационные издержки увеличиваются на 0,05 млн. руб./год, что составляет незначительную долю остальных издержек. Таким образом, периодический ремонт с интервалом 7 лет является приемлемой альтернативой резервированию, хотя последнее вполне удовлетворяет требованиям по допустимому сроку окупаемости. Рассмотрение приема повышения надежности применимо и к УУМ. Для обеспечения 100% резервирования предлагается параллельно включать два модуля УУМ, каждый из которых состоит из двух мостов и накопителя энергии. Каждый мост состоит из IGBT-транзисторов высокой мощности 5-го поколения CM1000DUC-34NF. Стоимость одной сборки около 0,025 млн. руб. Следовательно, стоимость 1 УУМ из 8 сборок составляет 0,2 млн. руб. С учетом 100% резервирования стоимость комплекта возрастает до 0,4 млн. руб. Как показали предшествующие расчеты, эта стоимость составляет не более 20% капитальных затрат, что не приведет к существенному увеличению срока окупаемости. Исследование на-

дежности IGBT модулей [10] показало, что частота отказов у них составляет приблизительно 10^{-7} ч. Это означает, что срок службы таких модулей не менее 10 лет. Эксплуатационные издержки по замене модулей составляют незначительную долю (не более 5%) расходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Манусов, В. З. Оценка потерь мощности из-за несимметрии по напряжению для систем электроснабжения скоростных железных дорог переменного тока / В. З. Манусов, П. В. Морозов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 331-333.
- 2 Обоскалов, В.П. Структурная надежность электроэнергетических систем / В.П. Обоскалов. -Екатеринбург: УРФУ, 2012. - 196 с.
- 3 Обобщенный сравнительный анализ трансформаторных преобразователей в системах электроснабжения скоростных железных дорог / В. З. Манусов, Ю. В. Морозов, П. В. Морозов, К. Н. Бойко // Теория и практика современной науки : материалы 10 междунар. науч.-практ. конф., Москва, 27-28 июня 2013 г. -Москва, 2013. -С. 102-105.
- 4 Тамазов, А.И. Несимметрия токов и напряжений, вызываемая однофазными тяговыми нагрузками / А.И. Тамазов. - Москва, 1965. -235 с.
- 5 Марквардт, К.Г. Справочник по электроснабжению железных дорог / К.Г. Марквардт. -Москва: Транспорт, 1981. -Т. 2 - 400 с.
- 6 Манусов, В. З. Метод уравнивания мощностей на вторичных обмотках трансформаторов Скотта / В. З. Манусов, П. В. Морозов // Изв. Том. политехн. ун-та. -2012. -Т. 320, № 4: Энергетика. -С. 62-67.
- 7 Требования к проектированию и эксплуатации систем тягового электроснабжения напряжением 2×25 кВ: Р 612/ 6, Польша. -Варшава: ОСЖД, 2009 -16 с.
- 8 Манусов, В. З. Применение преобразователей на основе трансформатора Скотта для электроснабжения скоростных железных дорог переменного тока / В. З. Манусов, П. В. Морозов, И. с. Крепышев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№ 2. -С. 322-324.
- 9 Chen, S.K. Reliability evaluations of railway power supplies by fault free analysis / S.K. Chen, T.K. Ho, B.H. Mao // IET Electric Power Applications. -2007. -№ 1. -Р. 161-192.
10. Арутюнян, А.Г. К вопросу расчета дополнительных потерь мощности в трансформаторах 6-10/ 0,4 кВ при их несимметричной нагрузке / А.Г. Арутюнян // Электрич. станции. -2012. -№8. -С. 41-44.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трансформатор Скотта, устройство выравнивания мощности, надежность систем электроснабжения
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Морозов Павел Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В НЕОДНОРОДНЫХ СХЕМАХ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Сибирский научно-исследовательский институт энергетики, филиал ОАО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы»

Т.Г. Красильникова, А.М. Потапенко

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF DECREASE IN POWER LOSSES IN NON-UNIFORM SCHEMES

Novosibirsk state technical university

Siberian research institute of power engineering, branch of Scientific and technical center of the Federal grid company of unified energy system

T.G. Krasil'nikova, A.M. Potapenko

Two variants of decrease in power losses in the non-uniform schemes consisting of in parallel working lines 220 and 500 kV are considered. In the first variant the series reactors in a line 500 kV for coming together of quality of different branches is used, and in the second variant the device of quadrature regulation on autotransformers is applied. It is given an estimation of economic efficiency of these variants.

Keywords: quality of line, non-uniform scheme, power losses, series capacitors, quadrature regulation device, payback time

Рассмотрены два варианта снижения потерь мощности в неоднородных схемах, состоящих из параллельно работающих линий 220 и 500 кВ. В первом варианте используются продольные реакторы в линии 220 кВ для сближения добротности ветвей разных напряжений, а во втором варианте применяется устройство поперечного регулирования на автотрансформаторах. Дана оценка экономической эффективности этих вариантов.

С повышением напряжений увеличивается добротность линий электропередачи, под которой понимается отношение индуктивного сопротивления линии к её активному сопротивлению $q = X/R$. Так, для линий напряжением 220 кВ добротность находится в диапазоне $q = 3,5-6,0$, для линий 500 кВ – в пределах $q = 9-15$, а для линий 1150 кВ она составляет порядка $q = 25$. Электрическая сеть включает в свой состав линии различного класса напряже-

ния, в результате чего образуются неоднородные контуры, в которые входят линии с разной добротностью.

Проблема неоднородных схем хорошо известна и состоит в неоптимальном распределении потоков активной мощности между ветвями, имеющими разные добротности [1], в результате чего возникают повышенные потери активной мощности. Решение этой проблемы лежит либо на пути снижения неоднородности схемы за счет изменения добротности ветвей (введением в них реактивных элементов), либо путем включения в неоднородный контур устройства поперечного регулирования напряжения, обеспечивающего более рациональное распределение мощностей между ветвями, обладающими разной добротностью. Поэтому представляет интерес проанализировать эту проблему с технико-экономических позиций и дать оценку эффективности снижения потерь мощности в неоднородных схемах, в состав которых входят линии высокого и сверхвысокого напряжения.

На рисунке 1 представлена нередко встречающаяся схема параллельно работающих линий 220 и 500 кВ. В варианте на рисунке 1а снижение потерь осуществляется путем использования устройств поперечного регулирования на АТ, а в варианте на рисунке 1б применяются продольные реакторы, включаемые по концам линии 220 кВ.

В качестве заданной режимной информации принимается напряжение и мощность на приемном конце схемы $P = P_2 + P_3$, которая близка к суммарной натуральной мощности обеих ветвей. При неизменной полной мощности $P = 1200$ МВт нагрузка на стороне 220 кВ варьируется в диапазоне $P_2 = 0-300$ МВт.

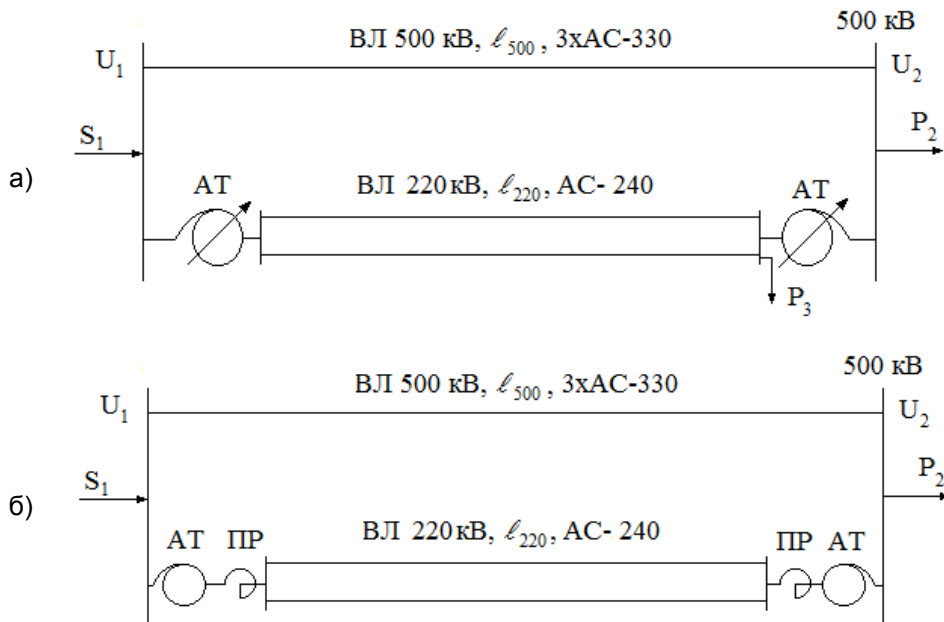


Рисунок 1 – Неоднородная схема с линиями 500 и 220 кВ: а)-использование устройств поперечного регулирования на АТ; б)-применение продольных реакторов

Без учета распределённости параметров, что дает погрешность не более 5% для линий в пределах 500 км, добротность ветвей 500 и 220 кВ соответственно составит

$$q_{500} = \frac{x_{500}}{r_{500}}; q_{220} = \frac{0,5x_{220} + \frac{2X_{AT}}{\ell_{220}}}{0,5r_{220}}, \quad (1)$$

где x_{500}, x_{220} – удельные индуктивные сопротивления соответственно ВЛ 500 и 220 кВ;

r_{500}, r_{220} – удельные активные сопротивления соответственно ВЛ 500 и 220 кВ;

X_{AT} – индуктивное сопротивление автотрансформатора (активное сопротивление АТ не принимается во внимание в силу его малости).

На рисунке 2 приведено снижение усреднённых потерь мощности в схеме в зависимости от сопротивления продольного реактора. Усреднение потерь проведено по условию равной вероятности нагрузок на стороне 220 кВ в указанном выше диапазоне. Как следует из этого рисунка, максимальное снижение потерь мощности имеет место при сопротивлении продольного реактора в диапазоне 30-50 Ом. В качестве продольных реакторов могут быть

использованы токоограничивающие реакторы напряжением 220 кВ [2], имеющие сопротивление 46,8 Ом. При почти одинаковом снижении потерь мощности как при установке реакторов с обеих сторон линии, так и одного реактора со стороны отправной системы последний случай представляется более экономичным решением.



Рисунок 2 – Снижение потерь мощности в зависимости от сопротивления продольного реактора

При использовании устройства поперечного регулирования [3] автотрансформатор характеризуется комплексным коэффициентом трансформации

$$\dot{K}_{AT}(\Delta\delta) = K_{AT} e^{\pm j\Delta\delta}, \quad (2)$$

где $\Delta\delta$ – регулируемый угол между напряжениями высокой и средней сторон автотрансформатора.

Зависимость снижения потерь мощности в функции от угла $\Delta\delta$ показана на рисунке 3.

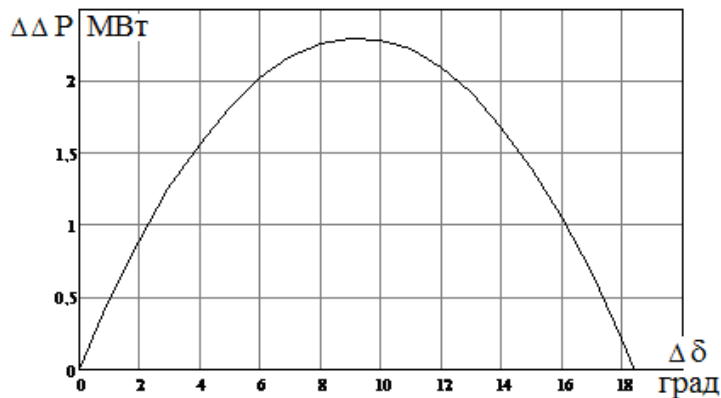


Рисунок 3 – Снижение потерь мощности в зависимости от угла регулирования на автотрансформаторах

Максимальное снижение потерь мощности обеспечивается в диапазоне углов $\Delta\delta = (8^\circ - 10^\circ)$. Реализованный на автотрансформаторах диапазон угла регулирования составляет $\Delta\delta = \pm(10^\circ - 12^\circ)$. Отсюда следует, что для обеспечения оптимального снижения потерь мощности в рассматриваемом случае достаточно установить устройство поперечного регулирования только на одном из автотрансформаторов.

Экономическая оценка эффективности различных вариантов и выбор лучшего из них рекомендуется проводить с использованием различных показателей, к которым помимо чистого дисконтированного дохода (ЧДД) относятся также индекс доходности, внутренняя норма доходности и срок окупаемости. В [4] предлагаются упрощенные соотношения для определения показателей экономической эффективности. В частности, выражение для часто используемого показателя срока окупаемости имеет вид

$$T_{ок} = T_K + \frac{\ln \left\{ 1 + \frac{\alpha_K}{T_K} \left[1 - (1+E)^{T_K} \right] \right\}^{-1}}{\ln(1+E)}, \quad (3)$$

где T_K – продолжительность инвестиционного периода;
 E – норма дисконта;
 α_K – коэффициент капиталоемкости.

Коэффициент капиталоемкости представляет отношение полных капиталовложений к годовой выручке за вычетом эксплуатационных издержек

$$\alpha_K = K / (R - I).$$

В таблице дана экономическая оценка эффективности снижения потерь для рассмотренных выше вариантов.

Таблица – Сравнение экономической эффективности снижения потерь для рассмотренных вариантов

Показатели		Продольный реактор в ВЛ 220 кВ	Устройство поперечного регулирования на АТ
Эффект от снижения потерь мощности	Снижение потерь мощности, МВт	1,78	2,29
	Снижение годовых потерь энергии, млн. кВт·ч	3,92	5,04
	Снижение затрат на возмещение стоимости потерянной энергии, млн. руб	2,94	3,78
Параметры устройств		$X_p = 46,8$ Ом	угол регулирования $\Delta\delta = 10^\circ$
Стоимость устройства, млн. руб/		19	11
Коэффициент капиталоемкости		7,4	3,1
Срок окупаемости, лет		20	5

Расчеты проведены в ценах 2000 года [5]. При определении годовых потерь электроэнергии было принято годовое время максимальных потерь $\tau = 2200$ ч, что соответствует продолжительности максимальной нагрузки $T_{max} \approx 4500$ ч. Удельная стоимость потерянной электроэнергии оценивалась величиной 750 руб/МВт·ч. Стоимость устройства поперечного регулирования по данным [5] не превышает 20% от стоимости самого автотрансформатора. Эксплуатационные издержки приняты равными 2% от полных капиталовложений для каждого варианта. Продолжительность инвестиционного периода для обоих вариантов принята равной $T_K = 1$ год.

Как следует из таблицы, вариант с устройством поперечного регулирования на АТ имеет неоспоримое преимущество по сравнению с вариантом, в котором используется продольный реактор в ВЛ 220 кВ.

Выводы:

– Потери мощности в неоднородных схемах, включающих параллельно работающие линии высокого (220, 330 кВ) и сверхвысокого (500, 750 кВ) напряжения могут быть существенно снижены либо путем установки продольных реакторов в линиях ВН, что сближает добротности ветвей ВН и СВН, либо путем использования устройств поперечного регулирования на автотрансформаторах.

– Экономическая оценка эффективности снижения потерь мощности показала, что вариант с устройством поперечного регулирования на АТ является экономически оправданным, поскольку срок окупаемости составляет 5 лет при длине линий порядка 300 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Холмский, В.Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей / В.Г. Холмский. -Москва: Высш. шк., 1975. -280 с.
- 2 Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич [и др.]; под ред. с.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. -3-е изд., перераб. и доп. -Москва: Энергоатомиздат, 1985. -352 с.
- 3 Создание силовых трансформаторов 750 кВ / И.Д. Воеводин, Г.И. Корневский, В.Ю. Френкель, В.М. Черноготский, Л.Н. Шифрин, В.А. Манькин, Л.Ф. Кривушкин // Дальние электропередачи 750 кВ: сб. ст. -Москва, 1974. -ч. 2. -С. 112-128.
- 4 Красильникова, Т.Г. Модифицированные критерии для оценки экономической эффективности энергетических объектов / Т.Г. Красильникова // Изв. РАН. Энергетика. -2010. -№ 6. -С. 84-91.
- 5 Справочник по проектированию электроэнергетических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. -4-е изд., перераб. и доп. - Москва: ЭНАС, 2012.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

добротность линии, неоднородная схема, потери мощности, продольный реактор, устройство поперечного регулирования на автотрансформаторах, срок окупаемости

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Красильникова Татьяна Германовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 Потапенко Антон Михайлович, ученый секретарь СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

*630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 630126, г.Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»*

ВОЗМУЩЕНИЯ РЕЗКОПЕРЕМЕННОГО ХАРАКТЕРА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

А.А. Шпиганович, П.И. Скоморохов

INDIGNATIONS OF VARIABLE CHARACTER IN SYSTEMS OF POWER SUPPLY OF THE ENTERPRISES WITH THE LONG OPERATING MODE

Lipetsk state technical university
A.A. Shpiganovich, P.I. Skomorokhov

In article the methodology of the analysis of negative network indignations on the basis of elektrocoenosis, essential different from classical probabilistic approach is considered.

Keywords: technocenosis, elektrocoenosis, system of power supply, rank, failure of tension, overstrain, highest harmonicas, quality of the electric power, non-failure operation

Рассматривается методология анализа негативных сетевых возмущений на базе электроценозов, существенно отличающаяся от классического вероятностного подхода.

Отказы элементов систем электроснабжения предприятий спокойного характера производства приводят к изменению параметров, характеризующих технологический процесс предприятия. Решение этой проблемы возможно осуществить установкой электрооборудования аналогично предприятиям с беспокойным технологическим процессом как, например, прокатное производство. Это будет способствовать значительному повышению надежности и, как следствие, безотказности. Однако стоимость такой замены весьма высока для производств с устойчивым технологическим процессом. Появление негативных сетевых возмущений в данном случае предсказать невозможно. В то же время, ввод в действие более мощных технологических машин увеличивает потребление электрической энергии.

Для негативных сетевых возмущений, существует направленность в пространстве и времени, концептуально исключая обратимость процесса. Параметры рассматриваемых возмущений в любой момент времени не определимо. Применение методов классической теории вероятности здесь нелогично и не оправдано. Даже увеличение количества замеров параметров, как свидетельствует опыт, не приводит к повышению точности [1]. Для описания и исследования процесса возникновения и распространения негативных сетевых возмущений в системах с продолжительным режимом работы предлагается использовать технические постулаты. В этом случае математическая модель негативных сетевых возмущений должна базироваться на теории электроэнергетического ценоза – электроценоза.

Апробированным инструментом электроценологических исследований является ранговый анализ, заключающийся в исследовании больших систем и имеющий целью их статистическое описание, а также оптимизацию, полагающую в качестве основного критерия форму видовых и ранговых распределений [2]. Электроценозом для данного исследования будем считать совокупность идентифицируемых негативных сетевых возмущений, каждое из которых классифицируется своей принадлежностью к тому или иному виду: провалы, перенапряжения, несинусоидальность. Отличие такого подхода от классического вероятностного заключается именно в их идентификации.

Отношения количества видов сетевых возмущений к числу их возникновения за рассматриваемый период определяется выражением [3]

$$Z = \frac{c}{n^m}, \quad (1)$$

где m, c – константы, значение которых определяет характер зависимости.

Можно интерпретировать выражение (1) следующим образом

$$Z_n = \frac{\lg(n)}{\lg(W_\Sigma)}, \quad (2)$$

где W_Σ – общий объем потребляемой производством электроэнергии.

Математический анализ выражения (2) свидетельствует о том, что чем больше величина потребляемой мощности, тем больше негативно сказываются самые часто возникающие (10%) сетевые возмущения (обратно – роль остальных возмущений (90%) уменьшается с

увеличением нагрузки).

Применение рангового электроценоза для достижения данной цели включает несколько этапов, ключевыми из которых являются этапы выявления, сбора информации, анализа и построения табулированных и графических представлений об объектах исследования. С их помощью выявляется необходимость изменения структуры электроценоза, вызванной отклонениями зависимости видового распределения от нормальной (отсутствие или допустимое воздействие возмущений). Выявление пути изменения видового рангового распределения, которое обеспечивает получение идеального распределения, является начальным этапом и выражается зависимостью [4]

$$\lambda(k) = \frac{z}{k^\beta}, \quad (3)$$

где z – количество рассматриваемых типов возмущений;
 k – тип ранга.

При построении идеального рангового распределения коэффициент β , характеризующий его, стремится к единице. В действительности для систем электроснабжения это практически невыполнимо. Графическое изображение идеального и реального ранговых распределений, не совпадают друг с другом, но возможны точки их пересечения. Для возникающих негативных сетевых возмущений с рангами выше точки пересечения должны быть проведены соответствующие мероприятия по их компенсации. Результаты внедренных мероприятий можно проследить по зависимостям видового распределения аппроксимирующего графика. В рассматриваемом случае аппроксимирующее выражение аналогично (3). Оно имеет вид

$$\lambda(v) = \frac{v}{v^\varepsilon}, \quad (4)$$

где λ – количество видов возмущений в рассматриваемой системе электроснабжения;
 v – исследуемый параметр анализируемого типа возмущения;
 v, ε – параметры, характеризующие аппроксимирующий вид распределение.

Анализ видов возмущений позволяет оценить их воздействие на функционирование системы. В данном случае отклонения статистической зависимости параметров возмущений вверх от теоретической свидетельствуют о том, что на производстве недостаточно или вообще отсутствует компенсация анализируемого вида возмущений. При «избыточной» компенсации, такой как установка неоправданно дорогого более мощного и надежного оборудования, наблюдается отклонение статистической зависимости относительно теоретической вниз.

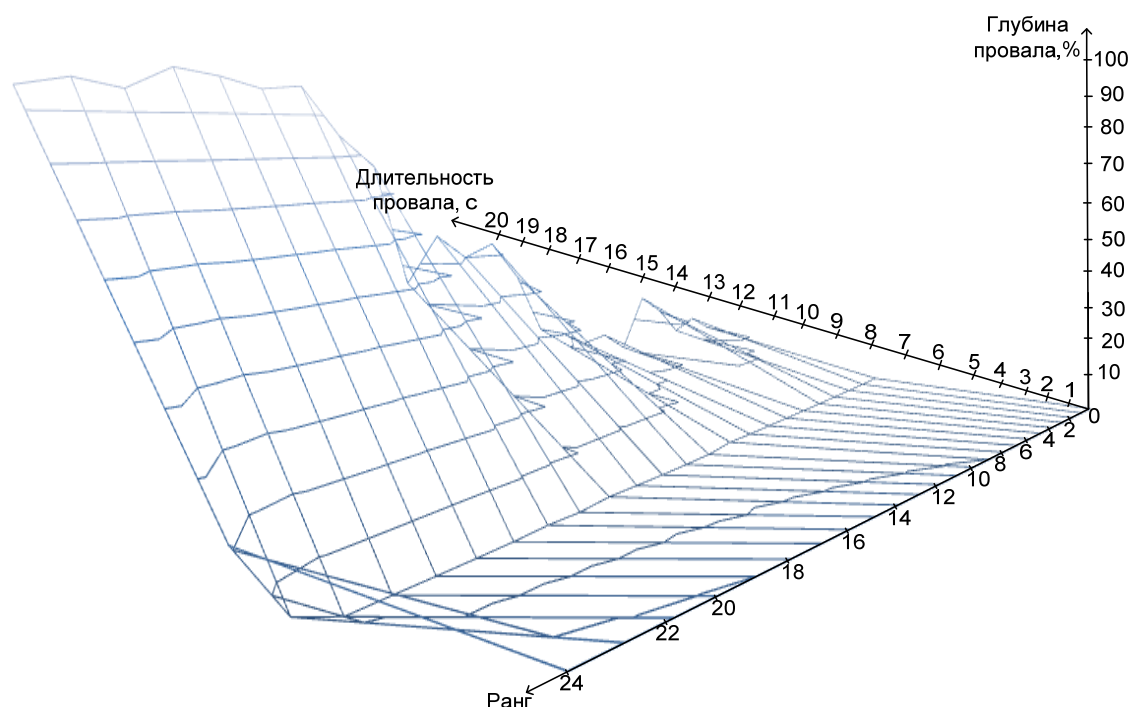


Рисунок 1 – Объемное ранговое распределение провалов напряжения по глубине и длительности

Спокойный технологический процесс для системы электроснабжения характеризуется тем, что появление негативных сетевых возмущений невозможно спрогнозировать по времени. В таком случае для выполнения первых двух, а затем и последующих этапов необходимо построить табличное и графическое представления для трех основных возмущений: провал напряжения, перенапряжение, высшие гармонические составляющие. На базе анализа огромного количества статистических данных о качестве электроэнергии в предприятиях с продолжительным режимом работы электрооборудования, были построены табулированные представления. Как следствие были построены трехмерные ранговые распределения параметров перенапряжений и провалов напряжения, а также двухмерное – для высших гармоник (рисунок 1-3).

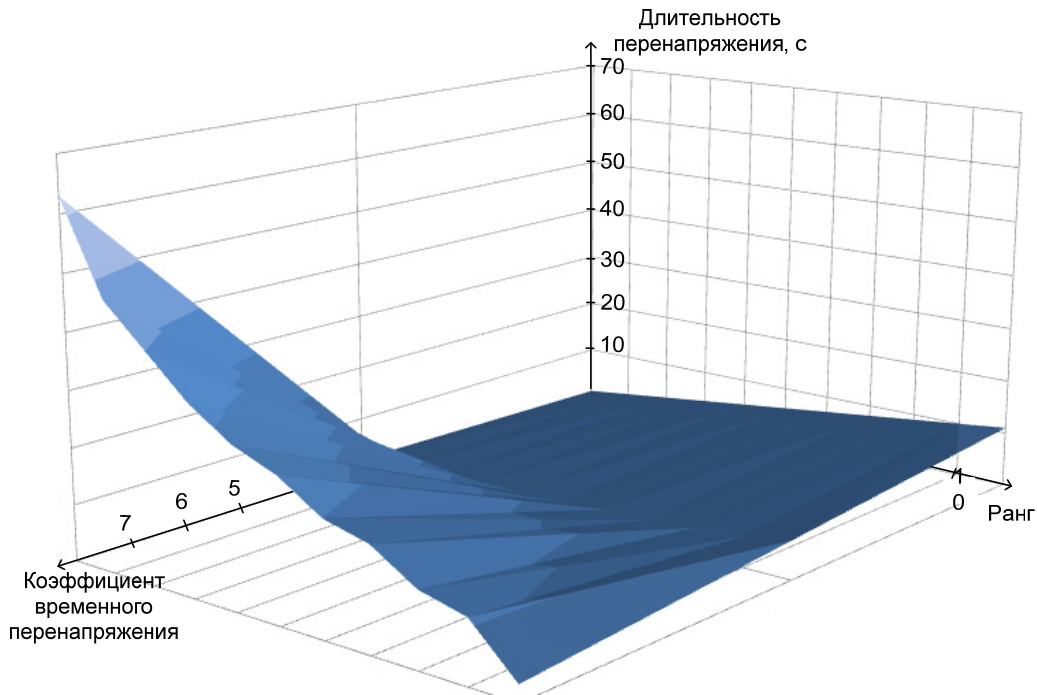


Рисунок 2 – Объемное ранговое распределение перенапряжений по коэффициенту перенапряжения и длительности

Ранговый анализ основывается на статистических данных, которые выражаются в виде электроценозов. Оптимизация глобальных распределений негативных сетевых возмущений достигается за счет специальных мероприятий, направленных на минимизацию их, а также на повышение эффективности функционирования системы электроснабжения в целом. Используемый подход позволяет упорядочить и, тем самым, упростить процесс оценки качества электроэнергии и функционирования электрооборудования. Ключевым является определение влияния, как отдельных мероприятий, так и их комплекса на безотказность системы электроснабжения. При этом появляется возможность учитывать развитие технологического процесса предприятия и даже отрасли в целом.

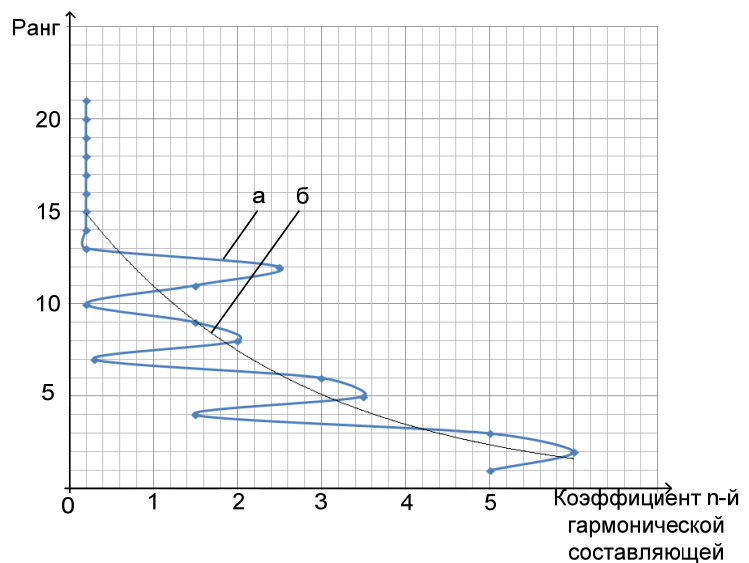


Рисунок 3 – Статистическая (а) и аппроксимирующая (б) кривые рангового распределения высших гармоник напряжения по коэффициенту n -ой гармонической составляющей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. -Москва: Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.
- 2 Гнатюк, В.И. Закон оптимального построения техноценозов / В.И. Гнатюк. -Москва: Центр систем. исслед., 2005. -383 с.
- 3 Кудрин, Б.И. Введение в технетику / Б.И. Кудрин. -Томск: Изд-во ТГУ, 1991. -384 с.
- 4 Шпиганович, А.А. Научно-технические основы анализа функционирования систем электроснабжения : монография / А.А. Шпиганович. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2012. -99 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *техноценоз, электроценоз, система электроснабжения, ранг, провал напряжения, перенапряжения, высшие гармоники, качество электроэнергии, безотказность*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Шпиганович Алла Александровна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»
Скоморохов Павел Игоревич, аспирант ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *398600, г.Липецк, ул.Московская, 30, ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КОММУТАЦИЯХ ВАКУУМНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ 110 кВ

**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
ООО «Болид»**

А.А. Базавлук, В.П. Горелов, Ю.М. Денчик, И.Ю. Цивилев

RESULTS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF TRANSIENTS AT 110 kV VACUUM CIRCUIT BREAKERS SWITCHINGS

Bolid

Siberian state university of water transport

A.A. Bazavluk, V.P. Gorelov, Ju.M. Denchik, I.Yu. Tsvilev

The paper presents the results of experimental investigations at switchings of furnace transformers by vacuum circuit breakers. Over-voltages and abnormal processes which reduce lifetime and reliability of power equipment are observed. Methods to eliminate abnormal processes are proposed.

Keywords: vacuum circuit breaker, overvoltages, repeated breakdowns, preliminary breakdowns

Представлены результаты экспериментальных исследований при коммутациях вакуумными выключателями печных трансформаторов. Показаны перенапряжения и неблагоприятные явления, сокращающие срок эксплуатации электрооборудования и надежность электроснабжения. Предложены способы устранения неблагоприятных явлений.

Вакуум является жесткой дугогасящей средой, что предполагает возможность обрыва дуги тока при высокой ее скорости перехода через нулевое значение и, вследствие этого, возникновение высокочастотных перенапряжений высокой кратности. Таким свойством в меньшей степени обладают элегазовая [1] и масляная дугогасящие среды.

Для защиты оборудования от коммутационных перенапряжений разработаны различные схемные решения с применением защитных аппаратов (разрядники, ОПН, RC-цепи и др.), способные эффективно защитить оборудование сети от перенапряжений [2-6].

По информации эксплуатирующих организаций, при установке вакуумных выключателей значительно повышается количество технологических нарушений, в первую очередь в схемах, где в соответствии с технологическими режимами коммутации происходят очень часто [7]. Со стороны научной общественности факт возможности возникновения опасных перенапряжений при коммутациях вакуумными выключателями подтверждается множеством теоретических и практических исследований [4-6, 8].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в схемах, где происходят технологические нарушения, связанные с коммутациями вакуумных выключателей, защитные мероприятия либо разработаны не правильно, либо вообще отсутствуют. При проектировании защитных мероприятий для конкретной схемы должны быть учтены технические характеристики коммутационного аппарата [9]. Отсутствие грамотного подхода к выбору защитных мероприятий приводит к тому, что при использовании вакуумных выключателей с низкими техническими характеристиками при коммутациях возникают высокочастотные перенапряжения.

В настоящее время в эксплуатации появились вакуумные выключатели на напряжение 110 кВ. Потребность в вакуумной коммутационной аппаратуре в классе 110 кВ и выше существует благодаря целому ряду преимуществ, в числе которых большой коммутационный ресурс, позволяющий использовать вакуумные выключатели 110 кВ для управления технологическими режимами металлургических предприятий и широкий диапазон рабочих темпера-

тур, вследствие которого эксплуатация вакуумных выключателей возможна в районах Крайнего Севера.

Существует очевидный дефицит в исследованиях переходных процессов при коммутациях вакуумных выключателей на 110 кВ. Отсутствуют нормативные документы, с помощью которых можно грамотно осуществлять выбор вакуумных выключателей и средств защиты. Производители оборудования, которое потенциально может быть установлено в схеме коммутируемой вакуумными выключателями 110 кВ, ограничиваются общим требованием об обязательной установке защитного аппарата. Большинство компаний, производящих коммутационную технику отдают предпочтение в высоких классах напряжения элегазовым выключателям. Одной из причин, по которой вакуумные выключатели достаточно редко устанавливаются в высоких классах напряжения, является «недоверие» многих эксплуатирующих организаций к вакуумным выключателям, как к аппаратам, при коммутации которых возможно возникновение опасных перенапряжений. Существует всего 4 широко известных предприятий, выпускающих вакуумные выключатели высокого класса напряжения: Контакт (г. Саратов, Россия), Высоковольтный союз (г. Екатеринбург, Россия), Элвест (г. Екатеринбург, Россия), Joslin (США).

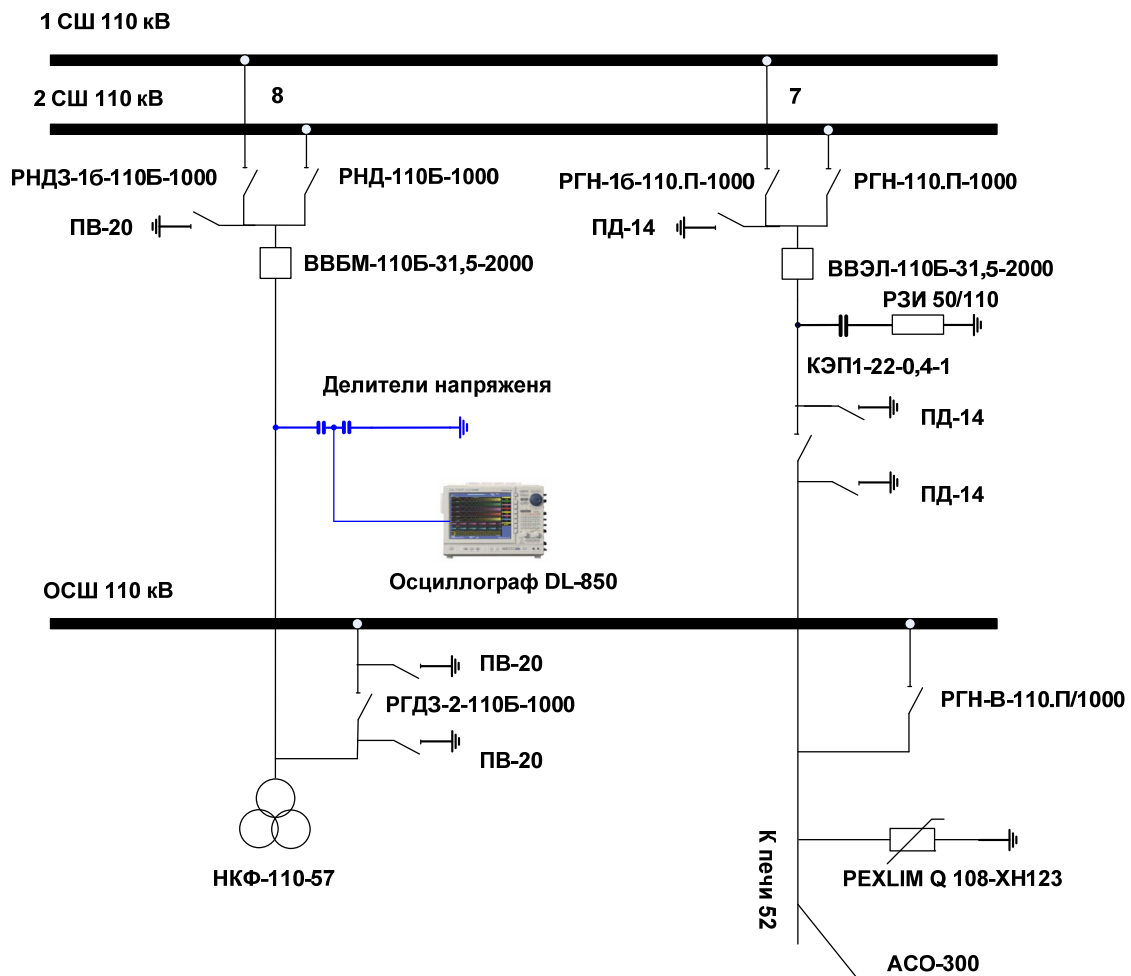


Рисунок 1 – Схема подключения измерительного оборудования для исследования переходных процессов при коммутациях печного трансформатора вакуумным выключателем 110 кВ

Ниже представлены экспериментальные исследования переходных процессов при коммутациях печных трансформаторов вакуумными выключателями 110 кВ. Цель экспериментальных исследований: оценка переходных процессов при коммутациях вакуумными выключателями 110 кВ и проверка эффективности защитных мероприятий. В ходе экспериментальных исследований переходных процессов в сети ГПП (главная понизительная подстанция) 110 кВ коммутировались отходящие от ячеек №7 и №12 линии (каждая длиной около 70 м), питающие сталеплавильную печь через печные трансформаторы ЭОДЦНКМ-27000/110-У1. Коммутация осуществлялась с помощью вакуумных выключателей ВВЭЛ-110Б-31,5/1000, установленных непосредственно на ГПП. В начале линии установлены

ОПН, соединенные по схеме «фаза-земля», в конце – ОПН, соединенные по схеме «фаза-фаза». В ячейке с выключателем на каждой фазе установлены защитные RC-цепи, которые в ряде опытов были отключены. Так же была выделена ячейка, в которой устанавливались высоковольтные делители напряжения, и которая на момент экспериментальных исследований была электрически связана с коммутируемой цепью через обходную систему шин (рисунок 1).

На рисунках 2 и 3 представлены осциллограммы переходных процессов при отключении. При регистрации переходные процессы при включении и отключении характеризуются соответственно наличием предварительных пробоев и повторных зажигания в каждом опыте.

Частоты переходных процессов и их амплитуда в осциллограммах опытов с RC-цепью значительно меньше, чем на осциллограммах переходных процессов в опытах, где RC-цепь отсутствовала. Количество повторных зажигания и предварительных пробоев при подключенных RC-цепях значительно меньше (от 1 до 9). При отсутствии RC-цепи количество предварительных пробоев при включении в среднем по фазам превышает 48-54, повторных зажигания превышает 52-84.

Ни в одном из опытов кратности перенапряжений не достигли уровня ограничения ОПН, установленных, как по схеме «фаза-фаза», так и по схеме «фаза-земля». При отключении максимальная кратность фазных перенапряжения в случае с RC-цепью достигала 1,13 о.е., без RC-цепи – 2,00 о.е. При включении выключателями схемы с RC-цепью фазных и междуфазных перенапряжений не зарегистрировано, без RC-цепи кратности фазных перенапряжений не превышали 1,72 о.е., междуфазных – не превышали 1,44 о.е. При отключении максимальная кратность междуфазных перенапряжения в случае с RC-цепью достигала 1,11 о.е., без RC-цепи – 2,04 о.е. Вместе с тем максимальная величина среза напряжения, воздействующего в виде высокочастотного импульса на обмотки трансформатора, подключенные по схеме «треугольник», достигала при включении без RC-цепи 189,9 кВ, с RC-цепью 53,5 кВ; при отключении без RC-цепи 281,5 кВ, с RC-цепью 77,8 кВ.

Скорость изменения пробивного напряжения (СИПН) для вакуумных выключателей ВВЭЛ-110Б-31,5/1000 составляет в среднем по фазам 18,6-76,0 кВ/мс при включении и 18,8-60,2 кВ/мс при отключении. Повторные зажигания возникают даже при наличии RC-цепей, вследствие того, что при расчете RC-цепей за расчетное значение для СИПН при отключении принимали 240 кВ/мс, что в 4-12 раз превышает реальные значения. Продолжительность предварительных пробоев и повторных зажигания соответственно при включении и отключении существенно меньше с RC-цепями (в среднем 1,60-2,51 мс при от-

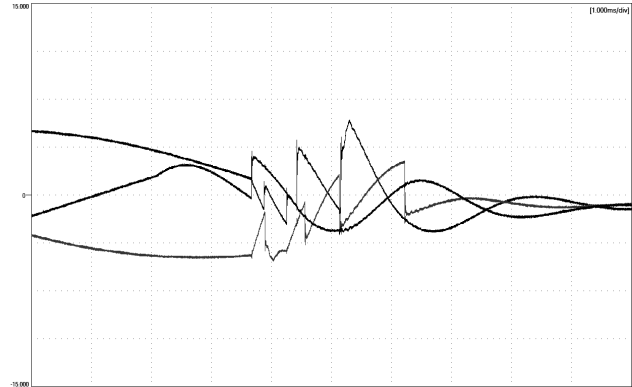


Рисунок 2 – Характерная осциллограмма фазных напряжений на коммутуемом присоединении при отключении вакуумного выключателя ВВЭЛ-110Б-31,5/1000 (RC-цепь установлена, цена деления по оси ординат 70,5 кВ, по оси абсцисс 1 мс)

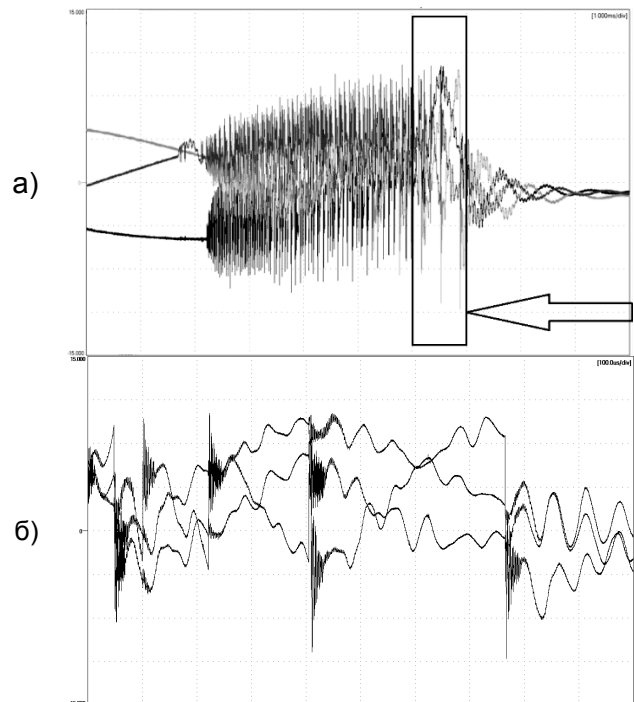


Рисунок 3 – Характерные осциллограммы фазных напряжений на коммутуемом присоединении при отключении вакуумного выключателя ВВЭЛ-110Б-31,5/1000: а)-1 мс; б)-0,1 мс (RC-цепь демонтирована, цена деления по оси ординат 70,5 кВ, по оси абсцисс)

ключении, 1,09-1,75 мс при включении), чем без RC-цепей (в среднем 2,92-3,95 мс при отключении, 1,98-2,15 мс при включении).

Пониженное, по сравнению с расчетным, значение СИПН вероятно связано с большой разновременностью размыкания контактов модулей в фазе. Если моменты размыкания нанесены во времени вероятность возникновения повторных зажиганий возрастает не только за счет сниженной СИПН, но и за счет большей вероятности попадания в критический интервал между моментами расхождением любой пары контактов и моментом перехода через нулевое значение тока промышленной частоты.

После пробоя в любом модуле происходит перераспределение напряжений, при котором напряжение, приложенное к контактам каждого модуля возрастает. Кроме того, во время перераспределения напряжения происходит переходной процесс на контактах каждого модуля. При этом повышается вероятность повторных зажиганий в остальных модулях и соответственно во всей фазе.

Ситуация усложняется, если пробой возникает в первых по времени отключаемых модулях, при том что другие еще остаются замкнутыми. Тогда при перераспределении на каждую пару разомкнутых контактов фазы напряжение будет больше.

Таким образом, пробой одного модуля фазы при большой разновременности размыкания контактов модулей в фазе при относительно малом напряжении может вызвать пробой всей фазы.

Для исключения этих процессов необходимо добиваться как можно меньшей разновременности в срабатывании модулей в фазе, чтобы эквивалентная СИПН была равна сумме СИПН камер каждого модуля. Достаточная синхронизация модулей в фазе может увеличить СИПН во столько раз, сколько модулей установлено в фазе и многократно уменьшить вероятность возникновения повторных зажиганий.

Заключение:

– Экспериментальные исследования показали техническую возможность измерения высокочастотных переходных процессов с помощью делителей напряжения в классе напряжения 110 кВ (результаты и описание подобных исследований проведенных ранее в литературе не освещались).

– Зарегистрированные переходные процессы при включении и отключении печного трансформатора вакуумным выключателем 110 кВ сопровождаются соответственно предварительными пробоями и повторными зажиганиями при каждой коммутации.

– ОПН не способны эффективно защитить витковую изоляцию трансформаторов от воздействия срезов напряжения.

– Установка RC-цепи позволяет существенно изменить характеристики переходной процесса: повторные пробой сводятся к минимуму либо исключаются полностью, снижая тем самым амплитуду перенапряжений, количество и величину срезов напряжения.

– Для расчета эффективной защиты коммутируемого оборудования от высокочастотных воздействий требуются достоверные данные о скорости изменения пробивного напряжения выключателя при отключении (в данной схеме RC-цепь не выполняют свою функцию в полной мере – при расчете была существенно завышена СИПН). Так же необходимо достигать наименьшей разновременности в срабатывании модулей в фазе, регулярно контролировать и регулировать разновременность по модулям в фазе.

– В классе напряжения 110 кВ продолжительность предварительных пробоев и повторных зажиганий соответственно при включении и отключении, как и частоты предварительных пробоев и повторных зажиганий, на порядок больше, чем в средних классах напряжения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *вакуумный выключатель, перенапряжения, повторные пробой, предварительные зажигания*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Базавлук Артем Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Цивилев Игорь Юрьевич, инженер ООО «Болид»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630015, г.Новосибирск, ул.Электроставская, 2, корп.6, ООО «Болид»*

АПРОБАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

В.И. Зацепина, Е.П. Зацепин, О.Я. Шачнев

TESTING THE USE OF WAVELET TRANSFORM IN IDENTIFYING THE NEGATIVE FACTORS IN POWER SYSTEMS WITH ABRUPTLY VARIABLE LOAD

Lipetsk state technical university
V.I. Zatsepina, E.P. Zatsepin, O.Ya. Shachnev

The proof feasibility use of the wavelet-transform in system max power, and the subsequent introduction in analyzing systems.

Keywords: variable load, negative factors, the wavelet Daubechies, approximation, power quality, data analysis

Приведено доказательство целесообразности применения вейвлет-преобразования в системах электроснабжения и последующего внедрения в анализирующие системы.

В настоящее время источниками резкопеременных нагрузок в системах электроснабжения являются мощные электроприемники с резкопеременным графиком потребления мощности. При их работе в электросети возникают резкие броски потребляемой мощности. Это вызывает изменения напряжения сети, размахи которых могут достигнуть больших значений. Указанные обстоятельства крайне неблагоприятно отражаются на работе всех электроприемников, подключенных к данной сети, в том числе и вызывающих эти изменения [1].

С целью выявления и дальнейшего предупреждения негативных факторов, необходим такой подход, который обеспечит точность выводимого результата, а так же быстрое действие анализа резкопеременных нагрузок [2]. Ввиду своей природы, анализируемые данные имеют большую частоту дискретизации, что затрудняет их исследование традиционным преобразованием Фурье и занимает достаточно ёмкий по времени и ресурсам объём.

Предлагается использовать в этом случае вейвлет-преобразование (wavelet) с целью избежания вышеперечисленных проблем. Термин вейвлет-анализ по смыслу аналогичен термину Фурье-анализ. В обоих случаях речь идет о представлении исследуемого процесса в виде линейной комбинации различных функций, именуемых базисом соответствующего преобразования. Для вейвлет-анализа характерно понятие масштаб (scale), графическое представление в виде диаграммы специального вида именуется скалограмма (scalogramm). Под масштабом следует понимать колебательные процессы различной периодичности. То есть низкочастотные колебания имеют более крупный масштаб, а высокочастотные – более мелкий. Вейвлет-анализ называют микроскопом, поскольку он позволяет исследовать каждый масштаб с необходимой и достаточной для него разрешающей способностью.

Для преобразования Фурье Ψ базисом являются функции $w_n(t)$, полученные из функции $w_n(t) = e[i(t)] = \cos(t) + i \sin(t)$ путем масштабного преобразования $w_n(t) = w(nt)$. Преобразование Фурье широко используется для спектрального анализа сигналов, однако имеет ряд недостатков: исходный сигнал заменяется на периодический, с периодом равным длительности исследуемого образца; плохо работает при изменении параметров процесса со временем, поскольку дает усредненные коэффициенты для всего исследуемого образца; не дает представления о динамике изменения спектрального состава сигнала.

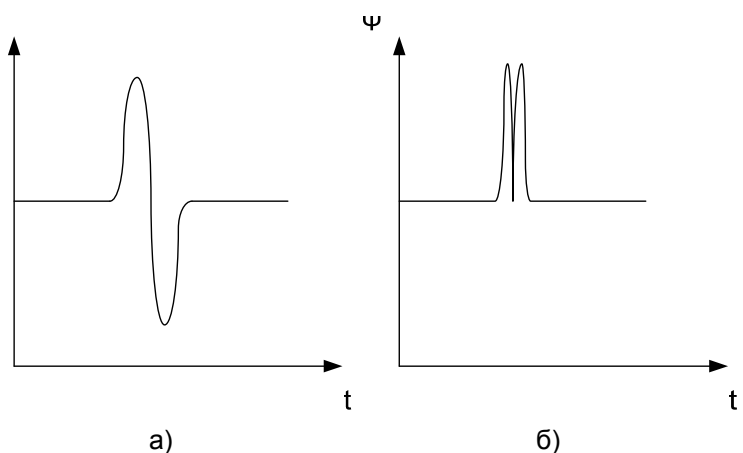


Рисунок 1 – Сопоставление вейвлет-преобразования (а) и преобразования Фурье (б)

Вейвлет-преобразование в большей степени позволяет преодолеть перечисленные недостатки преобразования Фурье, поскольку базисные функции обладают свойством временной локализации (рисунок 1), то есть обладают конечной энергией. Таким образом, свертка сигнала с одним из вейвлетов позволяет выделить характерные особенности сигнала в области локализации этого вейвлета и чем больший масштаб имеет вейвлет, тем более широкая область сигнала будет оказывать влияние на результат свертки.

Согласно принципу неопределенности, чем лучше функция сконцентрирована во времени, тем больше она размазана в частотной области [3]. При перемасштабировании функции произведение временного и частотного диапазонов остается постоянным и представляет собой площадь ячейки в частотно-временной (фазовой) плоскости. Преимущество вейвлет-преобразования заключается в том, что оно покрывает фазовую плоскость ячейками одинаковой площади, но разной формы (рисунок 2). Это позволяет хорошо локализовать низкочастотные детали сигнала в частотной области (преобладающие гармоники), а высокочастотные – во временной (резкие скачки, пики и т.п.). Более того, вейвлет-анализ позволяет исследовать поведение фрактальных функций, то есть не имеющих производных ни в одной своей точке.

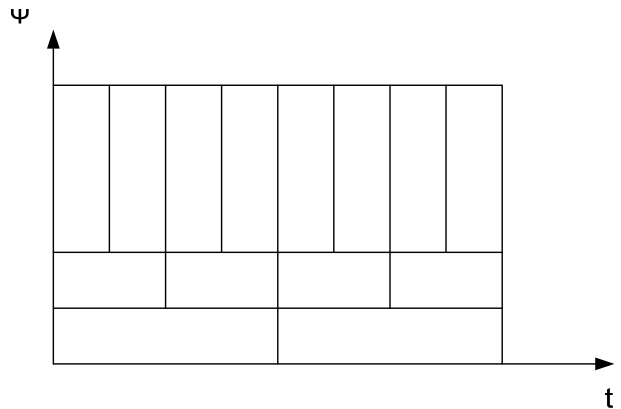


Рисунок 2 – Фазовая плоскость вейвлет-преобразования

Реализовать данные преобразования возможно посредством использования пакета MATLAB Wavelet Toolbox. Снятый сигнал резкопеременной нагрузки разложен с использованием вейвлета (вейвлет Добеши) до третьего уровня. Соответственно, на рисунке 3 приведены график исходного сигнала S и графики компонент сигнала, восстановленных чисто по аппроксимирующим коэффициентам a_3 и детализирующим коэффициентам d_1, d_2, d_3 .

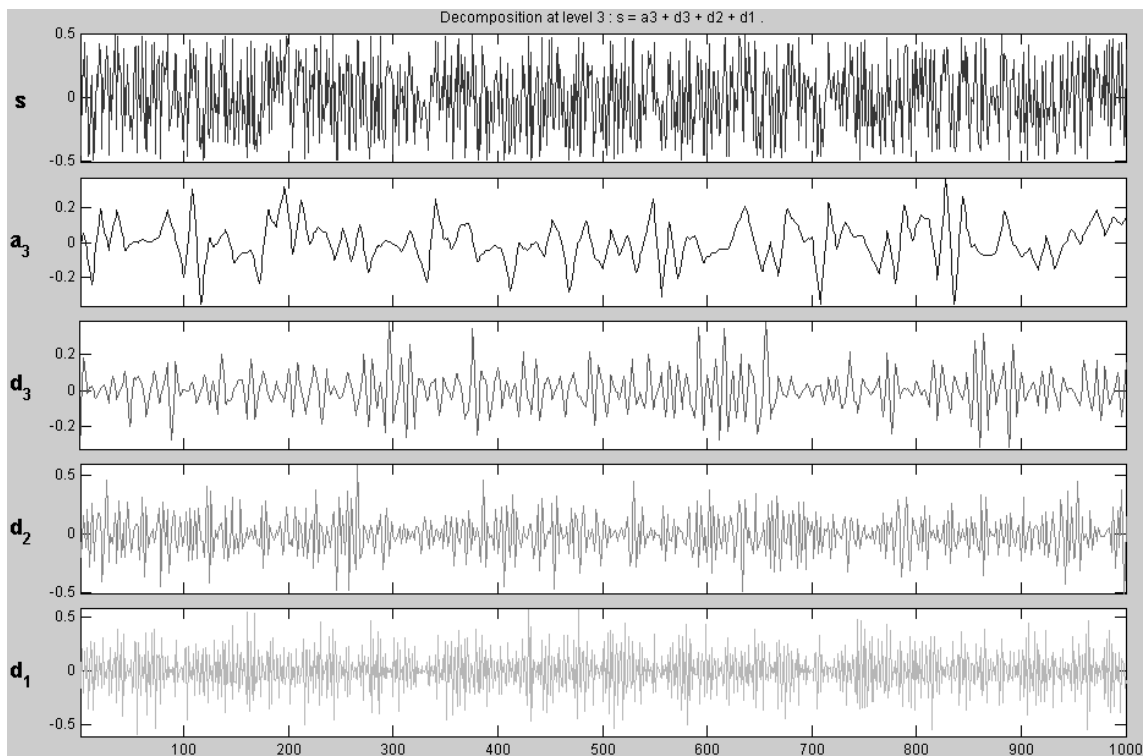


Рисунок 3 – Результат разложения резкопеременной нагрузки

Достоинством вейвлет-преобразования является то, что оно не вносит дополнительной избыточности в исходные данные, и сигнал может быть полностью восстановлен с использованием тех же самых фильтров. Кроме того, отделение в результате преобразования де-

талей от основного сигнала позволяет очень просто реализовать сжатие с потерями – достаточно просто отбросить детали на тех масштабах, где они незначительны. Отметим, что изображение, обработанное вейвлетами, можно сжать в 3-10 раз без существенных потерь информации (а с допустимыми потерями – до 300 раз). Благодаря высокой эффективности алгоритмов и устойчивости к воздействию помех, вейвлет-преобразование является мощным инструментом в тех областях, где традиционно использовались другие методы анализа данных, например, преобразование Фурье. Возможность применения уже существующих методов обработки результатов преобразования, а также характерные особенности поведения вейвлет-преобразования в частотно-временной области позволяют существенно расширить и дополнить возможности подобных систем.

Разумеется, вейвлеты являются весьма перспективными для анализа нагрузок резкопеременного характера. Представляя график нагрузок, в виде сверток, будут непременно обнаружены дополнительные возмущающие факторы [3], которые невозможно было бы обнаружить при преобразовании Фурье. Видно, что использование вейвлет-преобразование позволяет выявить более точную картину отклонения по качеству электроэнергии на производственном объекте, внедрив данный способ в системы передачи данных и, соответственно, в программы анализа экспериментальных данных и цифровой обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зацепин, Е.П. К вопросу об эффективности функционирования дуговых сталеплавильных печей переменного тока / Е.П. Зацепин // Вести вузов Черноземья. – 2012. – №2. – с. 23–30.
- 2 Зацепин, Е.П. Колебания и отклонения напряжения в дуговых сталеплавильных печах / Е.П. Зацепин // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета: в 2 ч. -2012. – Ч 1. -С. 345.
- 3 Зацепин, Е.П. Качество электрической энергии по напряжению в системах электроснабжения металлургических предприятий / Е.П. Зацепин, В.И. Зацепина // Вести вузов Черноземья. – 2013. – № 1. – с. 21–25.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Управления образования и науки Липецкой области в рамках научного проекта 14-48-03629 р_центр_а «Оптимизация динамики и энергосбережение в электротехнических комплексах металлургических производств».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *резкопеременная нагрузка, негативные факторы, вейвлет Добеши, аппроксимация, качество электроэнергии, анализ данных*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Зацепина Виолетта Иосифовна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»
 Зацепин Евгений Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»
 Шачнев Олег Ярославович, магистрант ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *398600, г.Липецк, ул.Московская, 30, ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
 ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»**

**Б.В. Палагушкин, Ю.В. Дёмин, Д.А. Елизаров, Е.Г. Алаев, И.Л. Власов,
 А.С. Герасименко, Ю.М. Денчик**

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR DETERMINING THE SPECTRAL COMPONENT OF THE VOLTAGE IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Siberian state university of water transport
 Omsk state transport university

B.V. Palagushkin, Yu.V. Demin, D.A. Elizarov, E.G. Alaev, I.L. Vlasov, A.S. Gerasimenko, Ju.M. Denchik

Describes the implementation of a new algorithm for determining the spectral components of the voltage in electric power systems.

Keywords: analysis, method of correlation functions, method of Fibonacci numbers

Описывается реализация нового алгоритма определения спектральных составляющих напряжения в электроэнергетических системах.

На основании анализа, проведенного ранее, оценку гармонических составляющих напряжения лучше производить модернизированным методом корреляционных функций, потому что он обеспечивает точность оценки параметров, близкую к нижней границе Крамера-Рао. Главным недостатком метода корреляционных функций является его высокая вычис-

лительная сложность. Уменьшение вычислительной сложности алгоритма является важнейшим критерием при создании нового метода. Для сокращения количества вычислительных операций необходимо использовать методы, позволяющие решать задачи поиска максимума функции по заданным точкам.

В статье произведен дополнительный анализ метода корреляционных функций на предмет выбора весовой функции, шага формирования наборов эталона и количества отсчетов в каждом наборе, при которых данный метод обеспечивает лучшие результаты работы при наличии шума в системе.

С целью сокращения количества вычислительных операций был предложен быстрый метод корреляционных функций, реализованный и исследованный в среде пакета Matlab. Результаты его работы в системе с шумом были сравнены с известными методами и с модернизированным методом корреляционных функций.

Выбор эталона. Для определения шага формирования наборов эталона, при котором метод корреляционных функций обеспечит наименьшую величину смещения оценки гармонических составляющих напряжения, проведен дополнительный анализ.

Для этого было выбрано три шага формирования наборов эталона: 0,1, 0,01 и 0,001.

На рисунке 1 представлены графики смещения оценки основной частоты напряжения в зависимости от уровня шума.

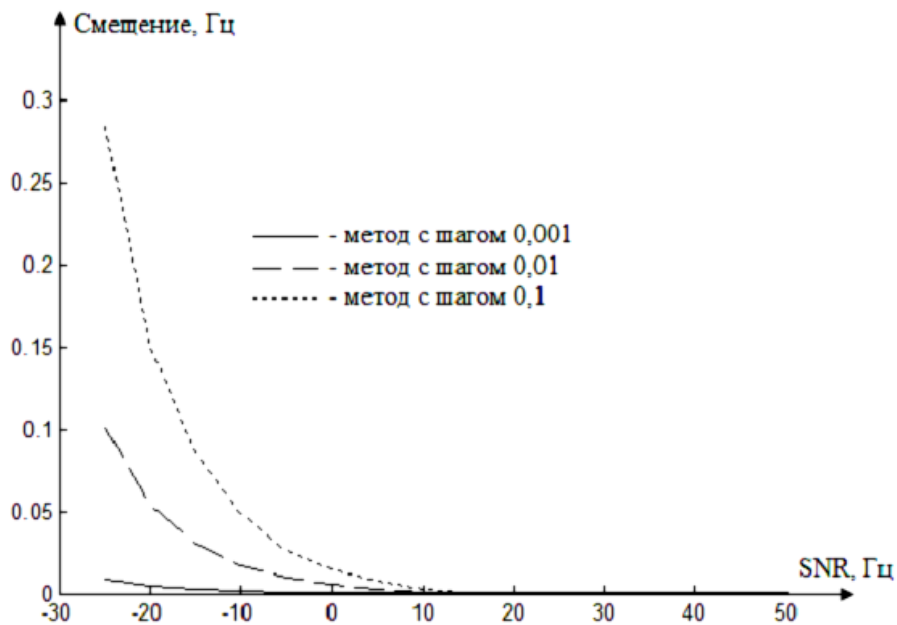


Рисунок 1 – Графики смещения оценки основной частоты напряжения в зависимости от уровня шума SNR

Из рисунка 1 видно, как снижается величина смещения с уменьшением шага. Это связано с построением более точной интерполяционной сетки функции в связи с увеличением количества наборов эталонов.

Согласно неравенству Крамера-Рао амплитуда гармоник напряжения имеет наибольшую величину дисперсии, таким образом минимальный шаг формирования наборов эталона h равен

$$h \geq \frac{2\sigma^2}{N}; \sigma^2 = 10^{-\frac{SNR}{10}},$$

где SNR – уровень шума;

N – число отсчетов быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Для определения количества отсчетов в наборе эталона, при котором метод корреляционных функций обеспечит наименьшую величину смещения оценки гармонических составляющих напряжения, проведен дополнительный анализ. Для этого метод корреляционных функций был исследован при количестве отсчетов в наборе эталонов равных $M = 3, 5, 7, 9$. На рисунке 2 отражено сравнение результатов смещения оценки основной частоты напряжения, в зависимости от уровня шума для разного числа отсчетов в наборе эталонов.

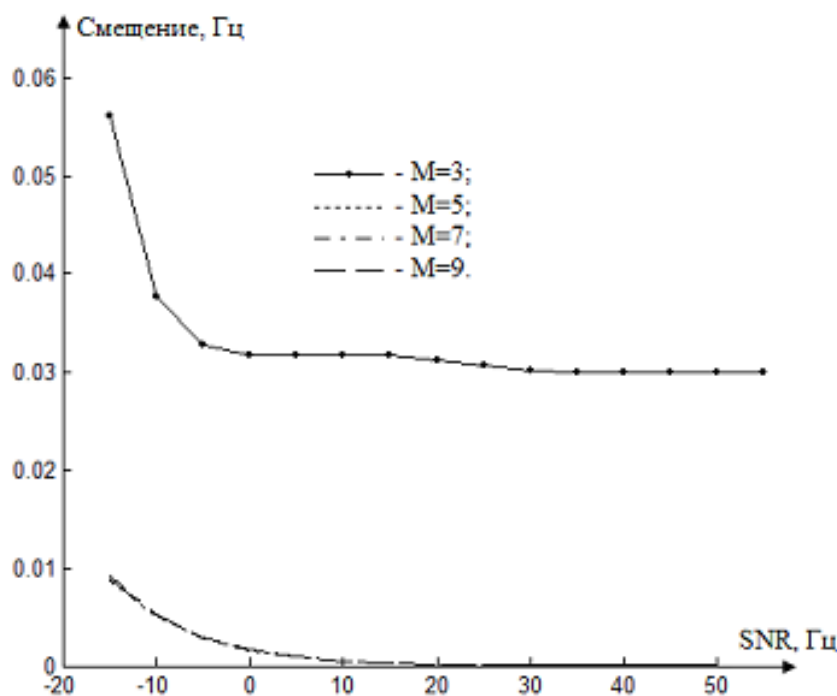


Рисунок 2 – Графики смещения оценки основной частоты напряжения в зависимости от уровня шума (определение числа отсчетов в наборе)

На рисунке 2 видно, что при значениях $M = 5, 7, 9$ результаты оценки частоты гармоники практически одинаковы, поэтому достаточно использовать пять отсчетов в наборе эталона при его построении. Тем самым это обеспечит экономию памяти и вычислительных ресурсов.

Для определения коэффициента корреляции методом корреляционных функций необходимо перебрать все наборы эталонов. Тем самым, чтобы вычислительную сложность метода, требуется сократить операцию перебора. Для этого были использованы методы определения максимума функции по заданным точкам.

Анализ методов поиска экстремумов функции. В качестве методов для решения задачи оптимизации были рассмотрены методы одномерной оптимизации: метод простой итерации, метод половинного деления, метод золотого сечения и метод чисел Фибоначчи.

Ввиду того, что метод простой итерации имеет больший шаг сходимости, нежели рассматриваемые алгоритмы, данный метод из дальнейшего анализа был исключен.

Метод половинного деления, как простейший однопараметрический метод безусловной оптимизации, является методом прямого поиска. При решении поставленной задачи в этом методе используются только вычисленные значения целевой функции.

Для метода половинного деления на каждом шаге необходимо вычислить значение функции в двух точках, соответственно, при k шагах вычисляется $N = 2k$ значений. К недостаткам метода можно отнести то, что информация о значении функции в точках x_1 и x_2 используется только на одном шаге.

Для метода золотого сечения на первом шаге необходимо вычислить значение функции в двух точках, а на каждом последующем шаге только одно значение, соответственно, при k шагах вычисляется $N = k + 1$ значений. Недостатком метода является неустойчивость относительно ошибок округления и дальнейшие вычисления только накапливают ошибки, что может привести к расходимости процесса.

Метод Фибоначчи – является одним из наиболее эффективных методов поиска экстремума в решении задач оптимизации. Данный метод требует двух вычислений функции на первой итерации, а на каждой последующей только по одному.

В таблице представлены результаты сравнительного анализа рассмотренных выше методов.

Согласно представленным данным в таблице, в качестве метода для определения максимума корреляционных функций был выбран метод чисел Фибоначчи.

Таблица – Сравнительный анализ методов для решения задач оптимизации

Метод	Половинного деления	Золотого сечения	Чисел Фибоначчи
Количество вычислений	$N = 2k$	$N = k + 1$	$N = k + 1$
Наличие операций деления при определении значений целевой функции (округление результатов)	нет	да	нет
Возможность заранее определять точки, в которых необходимо вычислить значения целевой функции	нет	нет	да

Метод чисел Фибоначчи основан на последовательности чисел Фибоначчи F_v , которая определяется следующим образом

$$F = +F_{v-1}; v = 1, 2, 3, \dots; F_0 = F_1 = 1.$$

Таким образом, последовательность Фибоначчи имеет вид: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, 4181, 6765, 10946, ..., в которой каждое последующее число равно сумме двух предыдущих чисел.

Пусть, что на k -ой итерации интервал неопределенности равен $[a_k, b_k]$. Рассмотрим две точки λ_k, μ_k , определяемые следующим образом

$$\lambda_k = a_k + \frac{F_{n-k-1}}{F_{n-k+1}}(b_k - a_k); k = 1, 2, \dots, n-1,$$

где n – заданное общее число вычислений функции.

$$\mu_k = a_k + \frac{F_{n-k}}{F_{n-k+1}}(b_k - a_k); k = 1, 2, \dots, n-1.$$

Новый интервал неопределенности $[a_{k+1}, b_{k+1}]$, будет равен $[\lambda_k, b_k]$, если $f(\lambda_k) > f(\mu_k)$ и $[a_k, \mu_k]$, если $f(\lambda_k) \geq f(\mu_k)$. Полагая, что $v = n - k$ получим

$$b_{k+1} - a_{k+1} = b_k - \lambda_k = b_k - a_k - \frac{F_{n-k-1}}{F_{n-k+1}}(b_k - a_k) = \frac{F_{n-k}}{F_{n-k+1}}(b_k - a_k); b_{k+1} - a_{k+1} = \mu_k - a_k = \frac{F_{n-k}}{F_{n-k+1}}(b_k - a_k).$$

Таким образом, в обоих случаях длина интервала неопределенности сжимается с коэффициентом

$$\frac{F_{n-k}}{F_{n-k+1}}.$$

На предварительном этапе алгоритма необходимо выбрать начальные границы отрезка $[a_1, b_1]$ и число итераций n (коэффициент сокращения исходного интервала), рассчитать начальные точки деления (λ_k и μ_k) значения в них целевой функции ($y_1 = \lambda_k$ и $y_1 = \mu_k$). На каждом шаге число n уменьшается на единицу. На основном этапе алгоритма производится сравнение значений целевой функции в точках. Если $y_1 < y_2$, то

$$a = \lambda_k; \lambda_k = \mu_k; \mu_k = b - (\lambda_k - a),$$

иначе

$$b = \mu_k; \mu_k = \lambda_k; \lambda_k = a + (b - \mu_k).$$

После каждого шага проверяется условие: если $n = 1$, то $x = \lambda_k = \mu_k$, в противном случае, алгоритм возвращает на основной этап.

Граф-схема алгоритма (ГСА) метода Фибоначчи представлена на рисунке 3 [1].

Описание быстрого метода корреляционных функций. На предварительном этапе для быстрого метода корреляционных функций необходимо определить точность, с какой будет производиться вычисления. Для этого определяется шаг формирования набора эталонов h . Далее определяется базовая точка В, вокруг которой будут создаваться эталоны, как ближайшее целое значение частоты измеряемого напряжения. Наборы эталонов формируются аналогичным образом, как и для метода корреляционных функций, только число эталонов должно быть число Фибоначчи. ГСА быстрого метода корреляционных функций представлена на рисунке 4.

Значение наибольшей амплитуды гармоники соответствует коэффициенту корреляции. Максимальное значение корреляционной функции определяется согласно алгоритму Фибоначчи. Наибольшее значение коэффициента корреляции показывает на пару «эталон-сигнал» и, соответственно, на величину отклонения δ от базовой точки.

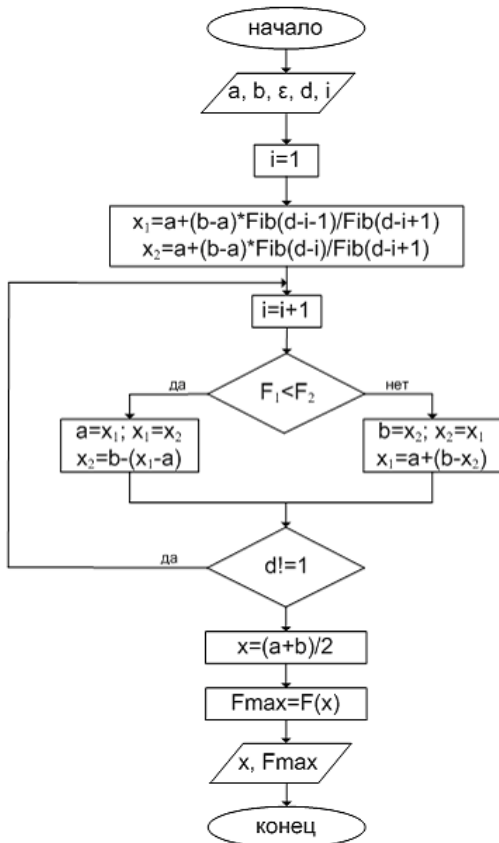


Рисунок 3 – ГСА метода Фибоначчи



Рисунок 4 – ГСА быстрого метода корреляционных функций

На рисунке 5 отражены графики смещения оценки основной частоты напряжения в зависимости от уровня шума для быстрого метода корреляционных функций и модернизированного метода корреляционных функций.

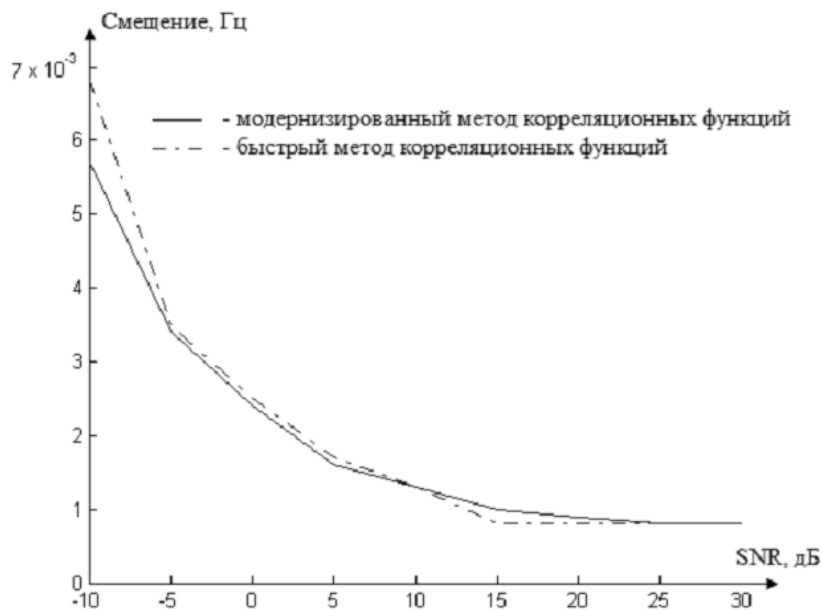


Рисунок 5 – Графики смещения оценки основной частоты напряжения в зависимости от уровня шума (быстрый метод корреляционных функций и модернизированный метод корреляционных функций)

На рисунке 6 отражена диаграмма, показывающая вычислительную сложность быстрого метода корреляционных функций и модернизированного метода корреляционных функций. По оси абсцисс отложен шаг формирования набора эталонов h , по оси ординат – количество переборов наборов эталона.

Для быстрого метода корреляционных функций с помощью неравенства Крамера-Рао был произведен анализ эффективности оценки гармонических составляющих напряжения [2, 3].

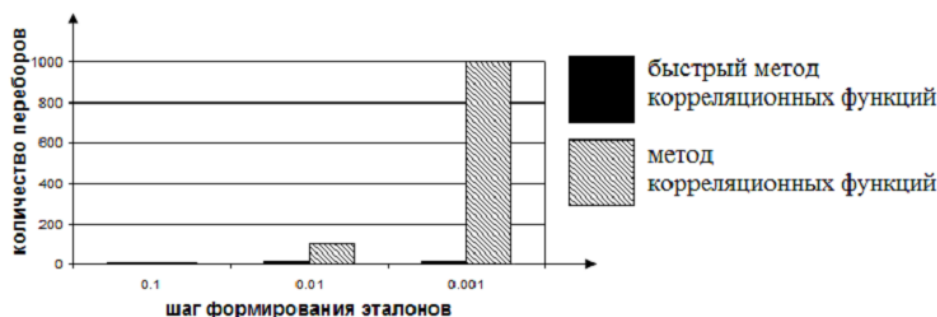


Рисунок 6 – Диаграмма вычислительной сложности (быстрый метод корреляционных функций и метод корреляционных функций)

Графики зависимостей дисперсий при оценке амплитуды и фазы гармоник напряжения от уровня шума представлены на рисунках 7 и 8. На этих рисунках отражена граница Крамера-Рао (графики для модернизированного метода корреляционных функций и быстрого метода корреляционных функций сливаются).

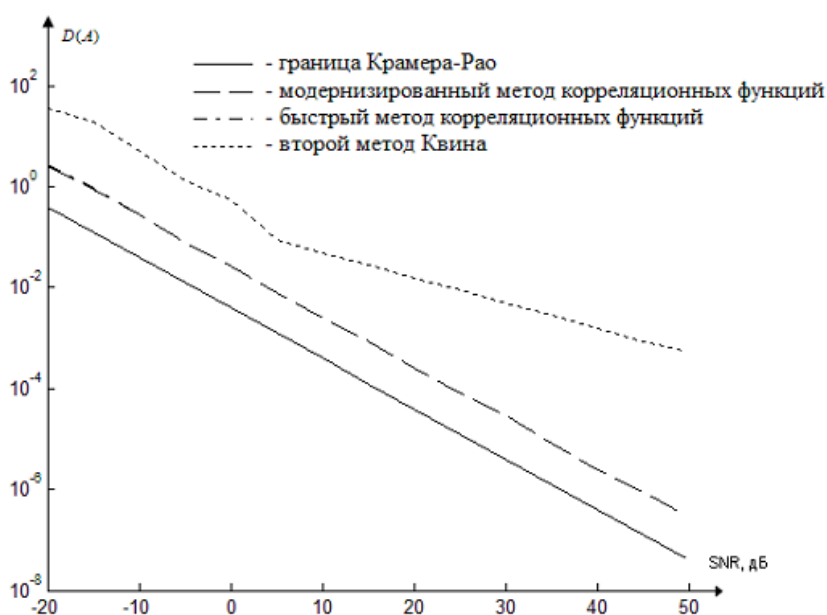


Рисунок 7 – Дисперсия при оценке амплитуды гармоник напряжения

Точность быстрого метода корреляционных функций соизмерима с точностью модернизированного метода корреляционных функций. Отличия возникают только при уровне шума от минус 10 дБ до минус 5 дБ. Величина отклонения не превышает двух процентов. Однако, вычислительная сложность быстрого метода корреляционных функций значительно ниже. Количество переборов быстрого метода корреляционных функций пропорционально натуральному логарифму от квадрата количества переборов метода корреляционных функций. Вычислительная сложность быстрого метода корреляционных функций равна

$$O(N + N \log N),$$

где N – используемое число отсчетов БПФ.

Выводы. При анализе метода корреляционных функций на предмет определения количества отсчетов в наборе эталона, с которыми метод обеспечит наименьшее смещение гармонических составляющих напряжения, было установлено, что достаточно использовать

пять отсчетов в наборе эталона при его построении. Это обеспечит экономию памяти и вычислительных ресурсов.

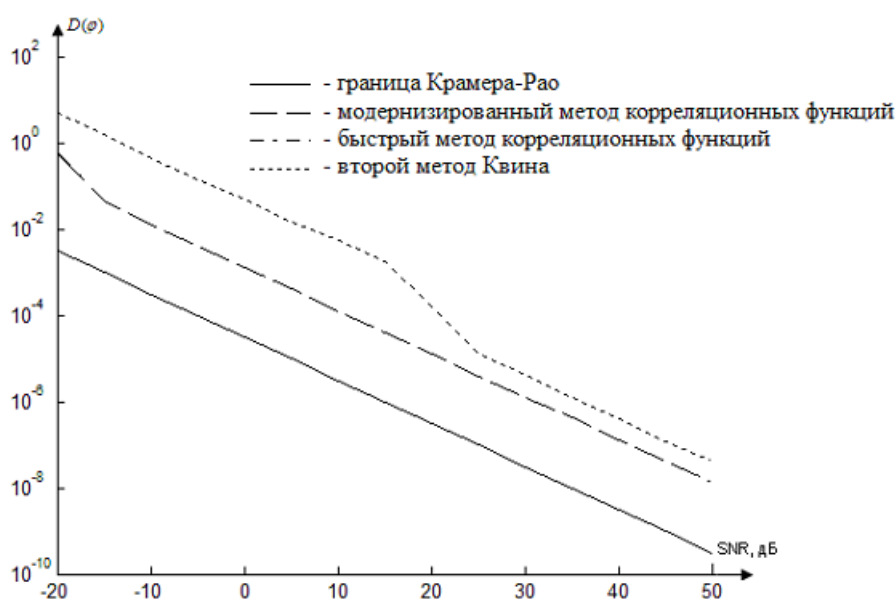


Рисунок 8 – Дисперсия при оценке фазы гармоник напряжения

Метод чисел Фибоначчи был использован для решения задачи сокращения количества операций перебора. Применение алгоритма позволяет определять точки, в которых необходимо вычислить значения коэффициента корреляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Елизаров, Д.А. Применение метода чисел Фибоначчи для поиска максимума корреляционной функции / Д. А. Елизаров // В мире науч. открытий / Науч.-инновац. центр. -Красноярск, 2012. -№1 (25). -С. 28-38.
 2 Альтман, Е.А. Повышение точности оценки параметров сигналов в электрической сети в системе тягового электро-снабжения / Е.А. Альтман, Д.А. Елизаров // Изв. Транссиба / Омск. гос. ун-т путей сообщения. -2012. -№ 3 (11). -С. 95-100.
 3 Альтман, Е.А. Совершенствование алгоритма определения параметров гармоник сигналов в электрической сети для оценки качества электроэнергии / Е.А. Альтман, Д.А. Елизаров, с.Н. Чижма // Электротехн. комплексы и системы упр. -Воронеж, 2012. -№4 (28). -С. 5-9.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: анализ, метод корреляционных функций, метод чисел Фибоначчи
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Елизаров Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
 Алаев Евгений Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Власов Илья Леонидович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Герасименко Андрей Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
 644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

А.Ю. Кузнецов

DETERMINATION FLUX FREQUENCY-CONTROLLED ASYN-CHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH PULSE-WIDTH MODULATION
 Novosibirsk state agrarian university
 A.Yu. Kuznetsov

In article are considered questions of optimum control of the frequency and adjustable asynchronous device with pulse-width.

Keywords: asynchronous electric characteristics

Рассмотрены вопросы оптимального управления частотно-регулируемой асинхронной машины с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

В настоящее время асинхронные электропривода (ЭП) с транзисторным преобразователем частоты применяются во всех сферах производства – в общепромышленных механизмах, где достаточным регулированием скорости является диапазон до 100 без непосредственного ее измерения, в прецизионных приводах с глубоким регулированием до 100000:1, в микроприводах измерительных систем [1].

При построении систем регулирования асинхронным электроприводом используется два различных способа – непосредственное и косвенное ориентирование обобщенного вектора потокосцепления, важнейшей задачей при таких построениях является определение мгновенных значений модуля ψ_r и фазового угла (аргумента) θ_{ψ_r} , а также проекций $\psi_{r\alpha}$ и $\psi_{r\beta}$ этого вектора на неподвижные ортогональные координатные оси α и β .

Один из способов определения магнитного потокосцепления частотно-регулируемого электропривода возможно произвести путём непосредственного интегрирования [2] соотношений для обобщенных векторов электродвижущих сил статора E_s , в воздушном зазоре E_m и ротора E_r , или их проекций на неподвижные координатные оси α - β , связанных со статором электродвигателя:

– для потокосцеплений статора в виде

$$\begin{cases} \bar{\psi}_s = \int \bar{E}_s dt + \bar{C}_s = \int (E_{sa} + \bar{a}E_{sb} + \bar{a}^2 E_{sc}) dt + C_{sa} + \bar{a}C_{sb} + \bar{a}^2 C_{sc} = \int (E_{s\alpha} + jE_{s\beta}) dt + C_{s\alpha} + jC_{s\beta}; \\ \psi_{s\alpha} = \int E_{s\alpha} dt + C_{s\alpha} = \int E_{sa} dt + C_{sa}; \\ \psi_{s\beta} = \int E_{s\beta} dt + C_{s\beta} = \frac{\int (E_{sb} - E_{sc}) dt + C_{cb} + C_{sc}}{\sqrt{3}}; \end{cases} \quad (1)$$

– для потокосцеплений в воздушном зазоре

$$\begin{cases} \psi_m = \int \bar{E}_m dt + \bar{C}_m = \int (E_{ma} + \bar{a}E_{mb} + \bar{a}^2 E_{mc}) dt + C_{ma} + \bar{a}C_{mb} + \bar{a}^2 C_{mc} = \int (E_{m\alpha} + jE_{m\beta}) dt + C_{m\alpha} + jC_{m\beta}; \\ \psi_{m\alpha} = \int E_{m\alpha} dt + C_{m\alpha} = \int E_{ma} dt + C_{ma}; \\ \psi_{m\beta} = \int E_{m\beta} dt + C_{m\beta} = \frac{\int (E_{mb} - E_{mc}) dt + C_{mb} + C_{mc}}{\sqrt{3}}; \end{cases} \quad (2)$$

– для потокосцеплений ротора

$$\begin{cases} \psi_r = \int \bar{E}_r dt + \bar{C}_r = \int (E_{ra} + \bar{a}E_{rb} + \bar{a}^2 E_{rc}) dt + C_{ra} + \bar{a}C_{rb} + \bar{a}^2 C_{rc} = \int (E_{r\alpha} + jE_{r\beta}) dt + C_{r\alpha} + jC_{r\beta}; \\ \psi_{r\alpha} = \int E_{r\alpha} dt + C_{r\alpha} = \int E_{ra} dt + C_{ra}; \\ \psi_{r\beta} = \int E_{r\beta} dt + C_{r\beta} = \frac{\int (E_{rb} - E_{rc}) dt + C_{rb} - C_{rc}}{\sqrt{3}}; \end{cases} \quad (3)$$

где C – постоянные величины соответствующих неопределенных интегралов.

Фазные значения и проекции на неподвижные оси α - β обобщенных векторов электродвижущих сил (ЭДС) асинхронного двигателя рассчитываются через фазные значения U_{sa}, U_{sb}, U_{sc} и I_{sa}, I_{sb}, I_{sc} или их ортогональные проекции $U_{s\alpha}, U_{s\beta}$ и $I_{s\alpha}, I_{s\beta}$ обобщенных векторов статорных напряжений \bar{U}_s и тока \bar{I}_s из следующих зависимостей:

– для ЭДС статора

$$\begin{cases} E_{sa} = \frac{d\psi_{sa}}{dt} = U_{sa} - R_s I_{sa}; E_{sb} = \frac{d\psi_{sb}}{dt} = U_{sb} - R_s I_{sb}; \\ E_{sc} = \frac{d\psi_{sc}}{dt} = U_{sc} - R_s I_{sc}; E_{s\alpha} = \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} = U_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha}; \\ E_{s\beta} = \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} = U_{s\beta} - R_s I_{s\beta}; \end{cases} \quad (4)$$

– для ЭДС в воздушном зазоре двигателя

$$\begin{cases} E_{ma} = \frac{d\psi_{ma}}{dt} = U_{sa} - R_s I_{sa} - L_{\delta s} \frac{dI_{sa}}{dt}; E_{mb} = \frac{d\psi_{mb}}{dt} = U_{sb} - R_s I_{sb} - L_{\delta s} \frac{dI_{sb}}{dt}; \\ E_{mc} = \frac{d\psi_{mc}}{dt} = U_{sc} - R_s I_{sc} - L_{\delta s} \frac{dI_{sc}}{dt}; E_{m\alpha} = \frac{d\psi_{m\alpha}}{dt} = U_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha} - L_{\delta s} \frac{dI_{s\alpha}}{dt}; \\ E_{m\beta} = \frac{d\psi_{m\beta}}{dt} = U_{s\beta} - R_s I_{s\beta} - L_{\delta s} \frac{dI_{s\beta}}{dt}, \end{cases} \quad (5)$$

– для ЭДС ротора

$$\begin{cases} E_{ra} = \frac{d\psi_{ra}}{dt} = \frac{1}{k} \left[U_{sa} - R_s I_{sa} - (L_{\delta s} + kL_{\delta r}) \frac{dI_{sa}}{dt} \right]; E_{rb} = \frac{d\psi_{rb}}{dt} = \frac{1}{k} \left[U_{sb} - R_s I_{sb} - (L_{\delta s} + kL_{\delta r}) \frac{dI_{sb}}{dt} \right]; \\ E_{rc} = \frac{d\psi_{rc}}{dt} = \frac{1}{k} \left[U_{sc} - R_s I_{sc} - (L_{\delta s} + kL_{\delta r}) \frac{dI_{sc}}{dt} \right]; E_{r\alpha} = \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{1}{k} \left[U_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha} - (L_{\delta s} + kL_{\delta r}) \frac{dI_{s\alpha}}{dt} \right]; \\ E_{r\beta} = \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} = \frac{1}{k} \left[U_{s\beta} - R_s I_{s\beta} - (L_{\delta s} + kL_{\delta r}) \frac{dI_{s\beta}}{dt} \right], \end{cases} \quad (6)$$

Измерение фазных статорных напряжений U_{sa}, U_{sb}, U_{sc} и I_{sa}, I_{sb}, I_{sc} , участвующих в вычислении ЭДС асинхронного двигателя, хотя на практике и осложняется рядом проблем, например одной из таких является пространственное удаление выходных клемм транзисторного преобразователя частоты от подсоединительных выводов фазных статорных обмоток двигателя, требует на практике технических решений. Анализ уравнений (4)÷(6) показывает, что для косвенной идентификации электродвижущих сил двигателя через статорные напряжения и токи требуется также информация о текущих значениях внутренних параметров схемы замещения асинхронного двигателя: в первую очередь о коэффициенте приведения k ротора и активном сопротивлении статора R_s , а также об индуктивностях рассеяния статора $L_{\delta s}$ и ротора $L_{\delta r}$.

Недостатком рассматриваемого способа идентификации потокосцеплений двигателя, и весьма значительным, по мнению автора, является необходимость ухода от идеального интегрирования в уравнениях (1)-(3), для исключения накопления ошибки при интегрировании. Особенно это касается области близкой к нулевой [3], так как при увеличении периода изменения статорных напряжений и токов, погрешность при интегрировании наиболее серьезна.

На практике осуществляемый уход от идеального интегрирования необходим для приравнивания нулю значений постоянных C в уравнениях (1)-(3).

Так называемое принудительное подавление постоянных величин интегрирования технически достигается охватом интеграторов определенными обратными связями [5]. Тема подавления постоянных величин достаточно описана, например, вместо интеграторов возможно применение апериодических звеньев с большой постоянной времени [2], хотя подобные способы подавления вносят дополнительные погрешности в вычисления как модулей ψ_s, ψ_m, ψ_r так и углового положения $\theta_{\psi s}, \theta_{\psi m}, \theta_{\psi r}$ векторов магнитного потокосцепления $\bar{\psi}_s, \bar{\psi}_m, \bar{\psi}_r$ асинхронного двигателя.

Одним из недостатков описанного способа определения параметров требуется принятие специальных технических мер, так как при применении апериодических звеньев вместе с сигналом ЭДС дополнительно суммируются сигналы задания потокосцепления двигателя, поступающие из системы регулирования электроприводом с преобразователем частоты [4], что делает почти невозможным на практике определение потокосцеплений при работе электропривода в режимах малых нагрузок при приближении скорости двигателя к нулевым значениям.

Несмотря на эти недостатки, важным достоинством такого способа идентификации заключается в возможности на основе простых технических решений создать достаточно широкогодиапазонные частотно-регулируемые асинхронные электропривода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Браславский, И.Я. Асинхронный энергосберегающий электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. - М.: Академия, 2004. -252с.
- 2 Бродовский, В.Н. Асинхронные приводы с частотно-токовым управлением / В.Н. Бродовский, Е.С. Иванов, А.С. Жилин, Н.Ф. Котеленец // Изв. АН СССР: Энергетика и транспорт, 1974. -№2.
- 3 Волков, А.В. Анализ стационарных режимов асинхронного двигателя при питании от автономного инвертора с широтно-импульсным способом регулирования выходного напряжения / А.В. Волков // Техническая электродинамика, 1998. -№6.
- 4 Дацковский, Л.Х. Современное состояние и тенденции в асинхронном частотно-регулируемом электроприводе / Л.Х.

Дацковский, В.И. Роговой, В.И. Абрамов и др. // Электротехника, 1996. -№10.

5 Шрейнер, Р.Т. Оптимальное частотное управление асинхронным электроприводами / Р.Т. Шрейнер, Ю.А. Дмитриенко // Кишинёв: Штиинца, 1982. -224 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *характеристики асинхронного электропривода*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Кузнецов Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГАУ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630039, г.Новосибирск, ул.Добролюбова, 160, ФГБОУ ВПО «НГАУ»*

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
Нижневартовский филиал ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»**

Е.В. Иванова, Н.А. Ковалева, А.А. Глотов

MAGNETIC FIELDS IN HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR
Siberian state university of water transport
Nizhnevartovsk branch Omsk state technical university
E.V. Ivanova, N.A. Kovaleva, A.A. Glotov

This paper presents an application of program for electromagnetic fields simulating by finite element method to calculate magnetic field in high-voltage switchgear.

Keywords: magnetic fields, outdoor switchgear, electromagnetic compatibility, COMSOL program

Рассмотрено использование программы моделирования электромагнитных полей методом конечных элементов для расчета магнитного поля в распределительных устройствах высокого напряжения.

Оборудование открытых распределительных устройств (ОРУ) высокого и сверхвысокого напряжений является мощным источником электромагнитного излучения, которое представляет собой опасность для здоровья рабочего персонала, попадающего под воздействие, а также влияет на нормальную работу технических устройств. В России введены санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН, устанавливающие требования к условиям труда работников, которые в процессе трудовой деятельности подвергаются профессиональному воздействию электромагнитных полей различных частотных диапазонов. В частности, для электрических и магнитных полей промышленной частоты установлены допустимые значения напряженностей электрического и магнитного полей в течение 8 ч (рабочая смена) равные 80 А/м и 5 кВ/м соответственно [1-3].

Расширяющееся использование микропроцессорной техники для автоматизации технологических процессов, измерений, релейной защиты, имеющей гораздо меньшие уровни рабочих напряжений и токов, а, следовательно, и меньшие пороги чувствительности, обостряют проблему электромагнитной совместимости технологических средств. Ежегодно регистрируются десятки инцидентов, связанных с различными нарушениями в работе устройств управления, защиты и автоматики [2, 3].

Одним из основных пунктов современного подхода к обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) в открытых распределительных устройствах является измерение напряженности магнитного поля у релейного щита в нормальных условиях, а также в местах, где потенциально может находиться работник из числа обслуживающего персонала. Достоверная информация о напряженности магнитного поля на ОРУ высокого и сверхвысокого напряжения крайне необходима при проектировании различных технических сооружений, внедрении новых конструкций, а также электромагнитных экранов.

Использование существующих приборов-измерителей [2] электромагнитных полей на ОРУ невозможно на менее допустимых расстояниях до токоведущих частей, находящихся под напряжением. Исключается возможность практического использования этой важной информации.

Расчет магнитных полей на подстанциях высокого напряжения является сложной многофакторной задачей, решение которой возможно численными методами. Применение численных методов, реализованных благодаря трехмерному моделированию, позволяет представить достоверную электромагнитную обстановку (ЭМО) на ОРУ.

Одним из таких численных методов является векторный метод конечных элементов (ВМКЭ), опирающийся на решения фундаментальных уравнений электромагнитного поля Максвелла и ставший за последние четыре десятилетия одним из наиболее активно используемых методов решения краевых задач математической физики. Теоретические основы и анализ результатов его применения при решении конкретных прикладных задач широко освещены в отечественных и зарубежных публикациях [2, 3].

Решение краевой задачи векторным методом конечных элементов состоит из следующих этапов:

- переход от исходной постановки к эквивалентной вариационной;
- дискретизация области решения (то есть, её разбиение на геометрические конечные элементы);
- выбор интерполяционных функций, определяющих свойства решения;
- генерация системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ);
- решение СЛАУ.

В данной работе показаны результаты расчета магнитных полей в открытом распределительном устройстве 110 кВ, который осуществлены при помощи трехмерного моделирования в программе COMSOL. Данная программа базируется на ВМКЭ. Все данные для построения трехмерных моделей взяты из типовых материалов для проектирования открытых распределительных устройств на унифицированных конструкциях [7]. На рисунке 1 представлен план ОРУ 110 кВ, состоящего из двух трансформаторных ячеек и одной ячейки ВЛ (посередине).

Примем, что ОРУ работает в нормальном режиме, обходная система шин находится в отключенном состоянии, первый трансформатор подключен ко второй системе шин, второй трансформатор – подключен к первой системе шин. Габариты ошинок и междуфазные расстояния являются унифицированными и показаны на рисунках ниже.

Габариты оборудования определяются изоляционными расстояниями и являются приблизительно одинаковыми у различных производителей. Были выбраны элегазовые колонковые выключатели LTB145D1/В, трансформаторы тока серии TG 145, а также высоковольтные разъединители наружной установки серии РГД. Расстояния токоведущих частей коммутационных устройств и трансформаторов тока взяты из заводских каталогов [5].

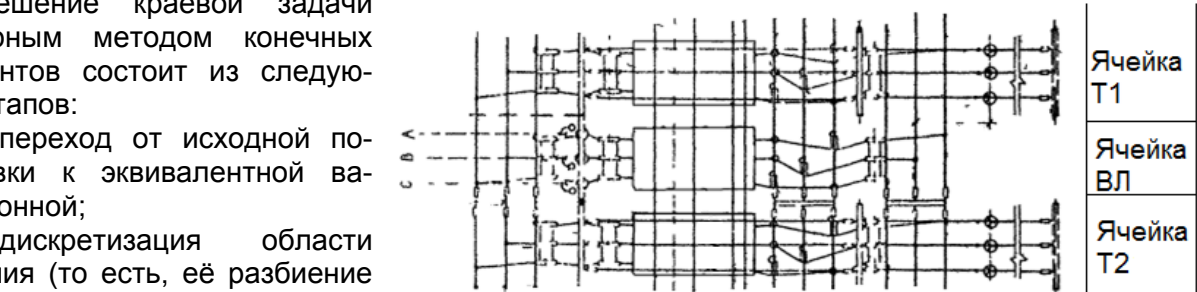


Рисунок 1 – План ОРУ 110 кВ

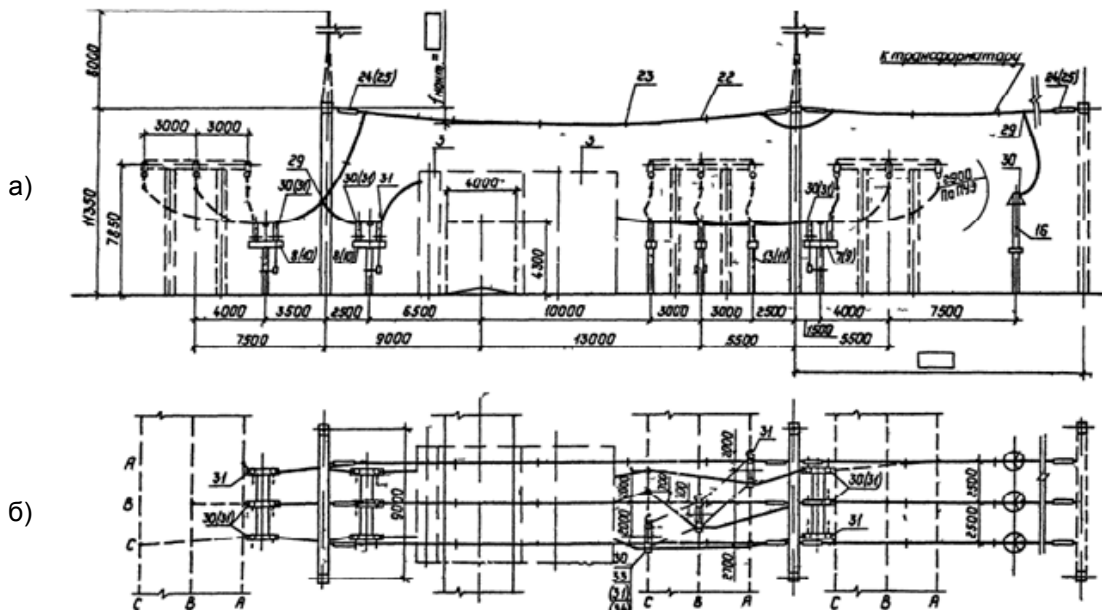


Рисунок 2 – Разрез (а) и вид сверху (б) ячейки ВЛ

В качестве гибкой ошиновки ячеек используется провод АС 185/29, в качестве систем шин – АС 240/39. Допустимые длительно токовые нагрузки на неизолированные провода зависят от условий их эксплуатации, места их прокладки и т.д. Они определены ГОСТ 839-80 и регламентируются правилами устройств электроустановок (ПУЭ)[6].

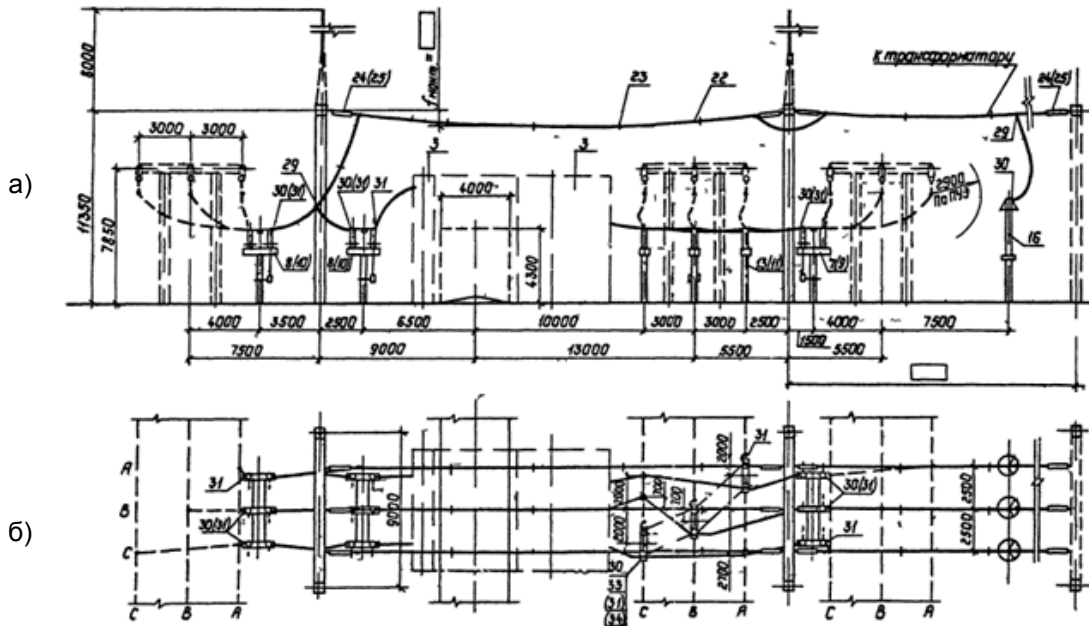


Рисунок 3 – Разрез (а) и вид сверху (б) ячейки трансформатора Т1(Т2)

На рисунке 4 изображена трехмерная модель ОРУ 110 кВ, состоящего из двух трансформаторных ячеек и одной линейной (посередине). Эта модель позволяет оценить влияние соседних ячеек на интенсивность магнитного поля вблизи обслуживаемых аппаратов ячейки ВЛ. Трансформаторные ячейки изображены в составе ошиновки присоединений к трансформаторам Т1 и Т2, аналогично линейным ячейкам – спуски к обслуживаемым аппаратам, токоведущие части разъединителей и высоковольтных выключателей, первичные обмотки трансформаторов тока, а также первая и вторая система шин.

Значения рабочих токов ошиновки ОРУ 110 кВ, токоведущих частей электрических аппаратов, а также систем шин ограничиваются длительными допустимыми токами, протекающими по проводам, и задаются в соответствии с фазировкой и условиями нормальной работы электрооборудования.

Согласно упрощенной методике расчета магнитных полей, представленной в [4], напряженность магнитного поля в заданной точке вычисляется по (1). Справедливость применения данной формулы для ОРУ описана в [3].

$$H = \frac{\ell}{2\pi R}, \tag{1}$$

где ℓ – ток, протекающий через токоведущие элементы, А;

R – расстояние от токоведущих элементов до исследуемой точки, м.

Максимальное значение напряженности магнитного поля вблизи привода разъединителей линейной ячейки ОРУ 110 кВ на высоте 1,8 м от земли будет равным

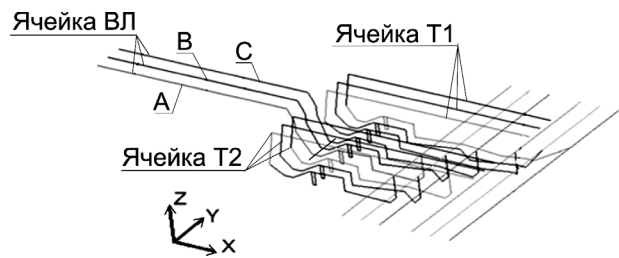


Рисунок 4 – Трехмерная модель ОРУ 110 кВ, состоящего из трех ячеек, реализованная в программе COMSOL

Таблица 1 – Значения токов, протекающих по токоведущим частям ОРУ 110 кВ

Токведущий элемент	Марка провода	Задаваемый ток, А
Ошиновка ячейка ВЛ	185/29	408
Ошиновка ячейка Т1, Т2	240/39	330
Системы шин	240/39	552

$$H = \frac{\ell}{2\pi R} = \frac{408}{2\pi \cdot 2,5} \approx 26 \text{ А/м.} \quad (2)$$

$H, \text{ А/м}$

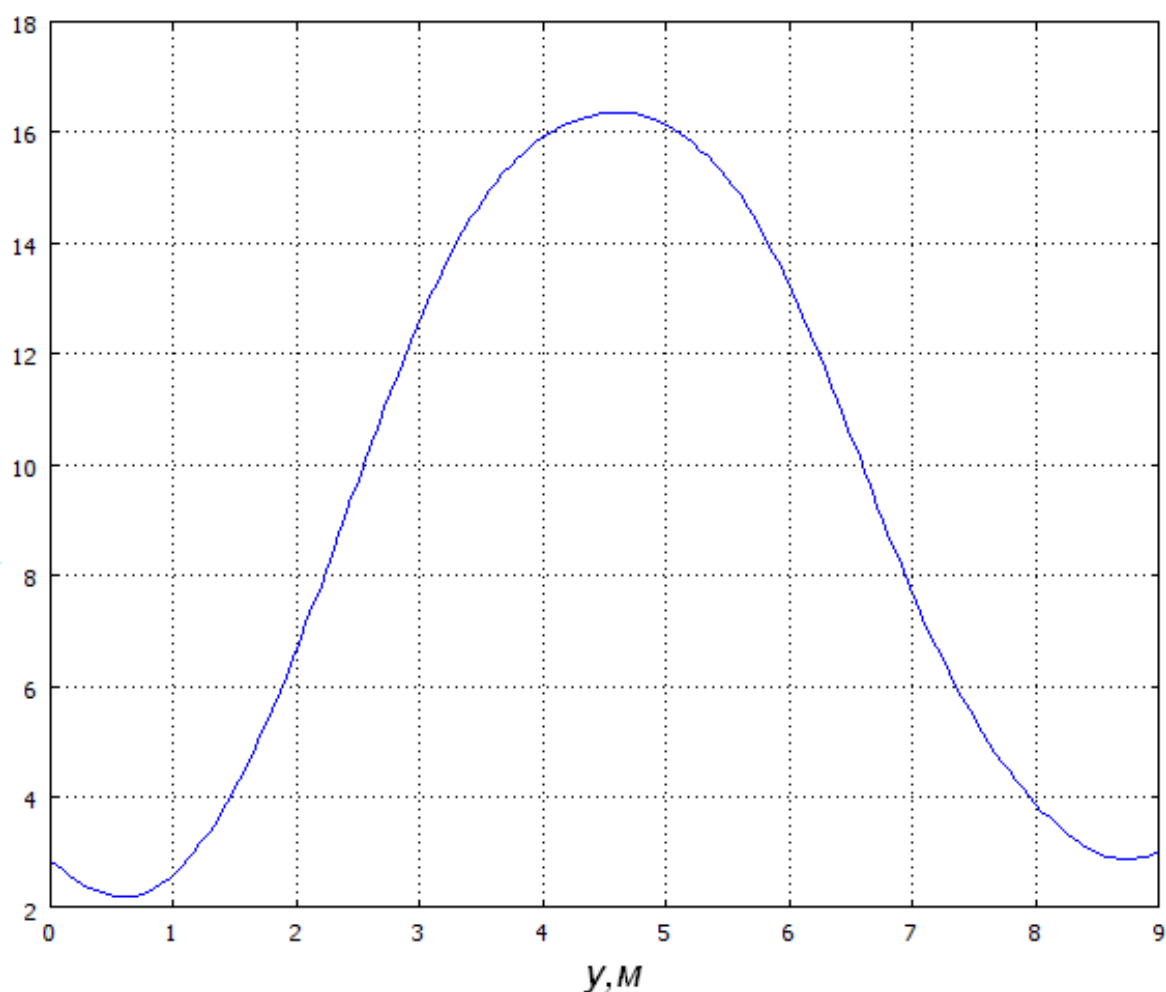


Рисунок 5 – Распределение напряженностей магнитного поля в направлении плоскости, перпендикулярной оси линии ошиновки ОРУ 110 кВ, на расстоянии 1,8 м от поверхности земли и 1,5 м от рукоятки разъединителя

Построенная модель позволяет рассчитать величины магнитной напряженности в любой области данного ОРУ. Ниже (рисунок 5) представлены результаты расчетов напряженности магнитного поля в направлении плоскости, перпендикулярной оси линии ошиновки линейной ячейки, на нормированном расстоянии 1,8 м (средняя величина роста человека) от поверхности земли и на расстоянии 1,5 м от привода разъединителя, на котором находится человек при вращении рукоятки разъединителя.

Как видно из полученного графика максимальное значение напряженности магнитного поля не превышает нормированной величины 80 А/м, допустимой при воздействии в течение рабочей смены (8 ч) для рассматриваемых компоновок и допустимых токов ОРУ 110 кВ. Результаты, полученные с помощью численных методов расчета, показали, что упрощенная аналитическая методика дает завышенные значения напряженности магнитного поля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магнитные поля, открытое распределительное устройство, электромагнитная совместимость, программа COMSOL

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Ковалева Наталья Александровна, преподаватель Нижневартковский филиал ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Глотов Александр Александрович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
628600, Тюменская область, (ХМАО-Югра), г.Нижневартовск, Западный промышленный узел, Панель 14, ул.Индустриальная, 46, Нижневартковский филиал ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТ ЛИНИЙ К ДВУХФАЗНЫМ КОРОТКИМ ЗАМЫКАНИЯМ ЗА МАЛОМОЩНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
 ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»
 Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

М.Я. Клецель, К.И. Никитин, К.С. Таронов

THE INCREASE OF LINE PROTECTION'S SENSITIVITY TO DIPHASIC DEAD SHORTS BEHIND THE TRANSFORMERS OF BRANCHES

National research Tomsk polytechnic university
 Omsk state technical university
 Pavlodar state university named S. Toraigyrov
 M.Ya. Kletsel, K.I. Nikitin, K.S. Taronov

The following algorithm of ac-tion of measuring body of re-serve protection is offered: continuously differences vectors currents of phases A and B, B and C, C and A in these and previous timepoints are defined, these differences are subtracted the friend from the friend, and then — and their differences. It is shown that it provides the demanded sensitivity to two-phase short замыканиya behind low-power transformers branch. The blocking ensuring the correct functioning of protec-tion in various modes are considered. The algorithm of logical part is presented. Difficulties of realization on static elements are noted and at bilateral food.

Keywords: line with branches, short circuits, protection, sensitivity, difference of currents

Предложен следующий алгоритм действия измерительного органа резервных защит: непрерывно определяются разности векторов токов фаз А и В, В и С, С и А в данный и предыдущий моменты времени, эти разности вычитаются друг из друга, а затем — и их разности. Показано, что это обеспечивает требуемую чувствительность к двухфазным коротким замыканиям за маломощными трансформаторами ответвлении. Рассмотрены блокировки, обеспечивающие правильную работу защиты в различных режимах. Представлен алгоритм логической части. Отмечены трудности реализации на статических элементах и при двустороннем питании.

В настоящее время резервные защиты линий (ВЛ) значительной длины, как и ранее [1], зачастую не обладают достаточной чувствительностью к коротким замыканиям (КЗ) за маломощными трансформаторами ответвлений. Имеются предложения по ее обеспечению [2-4] для случаев, когда ток I_{TA} , протекающий при этих КЗ через трансформаторы тока (ТА1) защищаемой ВЛ (рисунок 1), составляет без учета тока нагрузки $0,3I_{\text{раб.макс}}$, где $I_{\text{раб.макс}}$ - максимальный рабочий ток. Однако на линиях 110 кВ длиной 100-130 км с нагрузкой 70-50 МВА с трансформаторами в конце линии мощностью 2,5-4 МВА ток $I_{TA} = (0,1 \div 0,2)I_{\text{раб.макс}}$. Такие линии имеются, например, в Приморском край, Тюменской и Омской областях, Казахстане. Аналогичная картина с защитами кабелей 6-10 кВ, питающих шины, к которым подключены маломощные трансформаторы и значительная нагрузка. Чтобы выявить упомянутые токи предлагается следующий алгоритм действия измерительного органа (ИО) защиты при двухфазных КЗ.

Алгоритм действия ИО:

– Непрерывно определяются разности векторов токов фаз А и В, В и С, С и А защищаемой линии. Каждая из них запоминается на время t_n (оно определено далее).

– Из разностей векторов токов фаз А, В и С

$$\vec{I}_{HAB} = \vec{I}_{HA} - \vec{I}_{HB}; \vec{I}_{HBC} = \vec{I}_{HB} - \vec{I}_{HC}; \vec{I}_{HCA} = \vec{I}_{HC} - \vec{I}_{HA}, \quad (1)$$

определенных в данный момент времени (через t_n после предыдущего), вычитаются соответствующие разности векторов токов фаз А, В и С предыдущего (за время t_n) режима

$$\vec{I}_{HAB}^{PP} = \vec{I}_{HA}^{PP} - \vec{I}_{HB}^{PP}; \vec{I}_{HBC}^{PP} = \vec{I}_{HB}^{PP} - \vec{I}_{HC}^{PP}; \vec{I}_{HCA}^{PP} = \vec{I}_{HC}^{PP} - \vec{I}_{HA}^{PP}, \quad (2)$$

где $\vec{I}_{HA}, \vec{I}_{HB}, \vec{I}_{HC}, \vec{I}_{HA}^{PP}, \vec{I}_{HB}^{PP}, \vec{I}_{HC}^{PP}$ – вектора токов фаз А, В и С текущего и предыдущего режимов. Обозначим результаты этих вычитаний

$$\vec{I}_{AB} = \vec{I}_{HAB} - \vec{I}_{HAB}^{PP}; \vec{I}_{BC} = \vec{I}_{HBC} - \vec{I}_{HBC}^{PP}; \vec{I}_{CA} = \vec{I}_{HCA} - \vec{I}_{HCA}^{PP}. \quad (3)$$

– Из (2) вычитается (1), из (3) вычитается (2), из (1) вычитается (3). В итоге получаем

$$\vec{I}_{P1} = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}; \vec{I}_{P2} = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}; \vec{I}_{P3} = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}.$$

– Модули токов $\vec{I}_{P1}, \vec{I}_{P2}, \vec{I}_{P3}$ сравниваются с (уставкой) током I_{CP} срабатывания ИО, и,

если один из них больше или равен I_{CP} , то ИО срабатывает и выдает сигнал в логическую часть защиты. При микропроцессорном исполнении сравнение можно проводить с частотой дискретизации в 1-2 мс, так как этого времени достаточно, чтобы его осуществить, при полупроводниковом – 0,02 с. Не предъявляя к точности дискретизации особых требований. Это практически не повлияет на уставку по времени t_{zc} срабатывания защиты (для резервных защит линий $t_{zc} > 1$ с), так как 2 мс составляют 0,2% от 1 с. Первое сравнение с I_{CP} происходит через время t_n после запуска защиты (рисунок 2). Если за это время произойдет КЗ, то время ее работы может увеличиваться до $t_{zc} + t_n$. Поэтому t_n должно быть минимальным, но обеспечивающим все операции при реализации алгоритма, то есть больше частоты дискретизации и времени существования (0,01-0,03 с) возможной помехи в цепях трансформаторов тока. С запасом можно принимать $t_n = 0,05-0,1$ с.

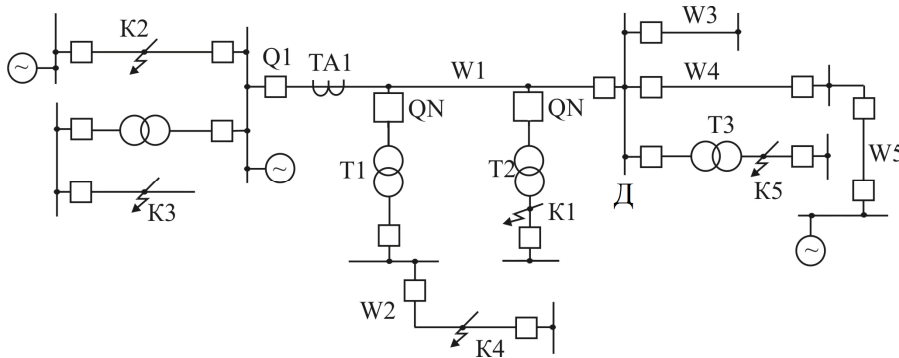


Рисунок 1 – Схема сети

Выбор тока срабатывания. Если в течение времени t_n режим не меняется, то, пренебрегая погрешностями ТА и устройств, реализующих алгоритм, можно считать, что $\bar{I}_{AB} = 0, \bar{I}_{BC} = 0, \bar{I}_{CA} = 0$ (здесь и далее не будем вводить обозначения вторичных токов и коэффициент трансформации ТА1 защищаемой линии W_1 на рисунке 1, поскольку это не влияет на представляемые соотношения). В действительности имеются погрешности, вызванные, в основном, несимметрией токов нагрузки. Поэтому

$$\bar{I}_{AB} = \bar{I}_{НБ1}; \bar{I}_{BC} = \bar{I}_{НБ2}; \bar{I}_{CA} = \bar{I}_{НБ3},$$

где $\bar{I}_{НБ1}, \bar{I}_{НБ2}, \bar{I}_{НБ3}$ – токи небаланса, отнесенные к напряжению W_1 .

Тогда после вычитания по пункту 3 алгоритма

$$\bar{I}_{P1} = I_{НБ2} - I_{НБ1},$$

также определяются $\bar{I}_{P2}, \bar{I}_{P3}$.

Чтобы защита не сработала, ток I_{CP} срабатывания должен быть больше максимальной разности токов $|I_{НБМ}|$ небаланса. С учетом коэффициентом $K_{отс}$ отстройки $K_{отс} = 1,1-1,2$

$$I_{CP} = K_{отс} |I_{НБМ}|. \quad (1)$$

Примем с запасом $I_{НБМ} = 0,2I_{РАБ.МАКС}$, аналогично тому, как это делается в защитах, реагирующих на токи обратной последовательности.

Логическая часть защиты. Защита запускается через время $t_1 = 0,15$ с после включения выключателей всех фаз (с помощью РПВ – реле положения выключателя), чтобы ИО не сработал из-за несимметрии, вызванной их неодновременным включением. Сигнал от ИО задерживается на $t_2 = 0,05$ с для несрабатывания защиты при появлении помех в цепях трансформаторов тока, и после задержки на t_2 запоминается на время

$$t_3 = t_{zc} + t_{откл} + \Delta t_1 \text{ на } t_4 = t_1 + t_2 + t_3 + t_{вкл} + t_{АПВ} + t_n + \Delta t_2,$$

где $t_{zc}, t_{АПВ}$ – выдержки времени защиты и устройства автоматического повторного включения (УАПВ), выбираются также, как у традиционных;

$t_{откл}, t_{вкл}$ – наибольшие из времен отключения и включения выключателей фаз, Δt_1 и Δt_2 – время запаса.

Запоминание на t_3 необходимо, так как при двухфазном КЗ за трансформатором, на-

пример в точке К1 (рисунок 1) какой-то из токов $|I_{p1}|, |I_{p2}|, |I_{p3}|$ будет больше I_{cp} только в течение $t_{п} = 0,1$ с (то есть до тех пор, пока токи повреждения на текущий момент и токи предшествующего режима различаются), и время t_{zc} обычно $t_{zc} = 1-3$ с никогда не будет набрано. Запоминание на t_4 обеспечивает срабатывание ИО при включении защищаемой линии W1 от УАПВ на устойчивое двухфазное КЗ за трансформатором (точки К1 или К5, см. рисунок 1). Дело в том, что через 0,15с после включения W1 ток КЗ уже установился и равен току КЗ через $t_{п} = 0,1$ с, и ИО не сработает. Для его срабатывания надо сравнивать значение тока через $t_1 + t_{вкл}$ после сигнала о срабатывании УАПВ с током, протекающим в фазах за время t_4 до этого момента (то есть вместо $t_{п}$ использовать t_4). Этот сигнал запоминается и выдается через время $t_5 = t_{вкл} + t_1 + \Delta t_3$, (Δt_3 - время запаса). Затем вводятся данные о токах после АПВ (рисунок 2).

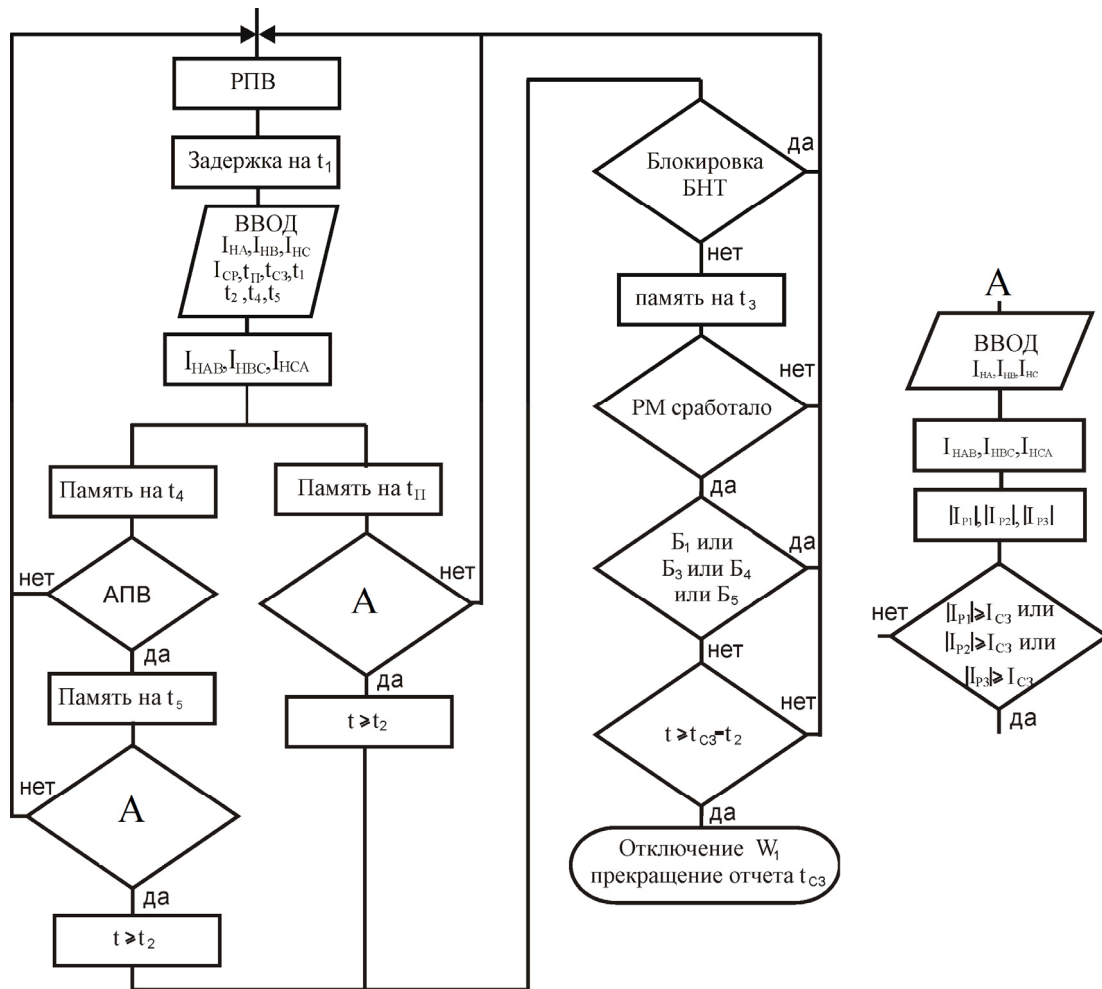


Рисунок 2 – Алгоритм функционирования защиты

Для того, чтобы исключить излишнюю работу защиты при скачкообразных увеличениях тока в W1 (ИО не отстраивается от небалансов при самозапуске электродвигателей, питающихся от трансформаторов Т1 и Т2 (см. рисунок 1), при подключении и отключении их нагрузки и качаниях на транзитных линиях, введена блокировка РМ (рисунок 2) по направлению мощности обратной последовательности. Она предотвращает излишнюю работу в различных несимметричных режимах, например при внешнем двухфазном КЗ в точке К2 или удаленной точке К3, когда на линии W₁ появится продольная несимметрия, или при работе УАПВ, включая однофазные (ОАПВ). Однако при двустороннем питании и работе двумя фазами после ОАПВ на устойчивое однофазное КЗ необходимо блокировать защиту по сигналам Б1 от реле РПВ с противоположной стороны защищаемой линии W1 и по сигналам Б2, Б3, Б4 от РПВ других присоединений, отходящих от шин Д (рисунок 1). Это может сдерживать применение защиты на линиях напряжением 220 кВ и выше с двусторонним питанием.

Оценка чувствительности. Определим какие минимальные токи $I_{\text{КМИН}}$ короткого замыкания за трансформатором сможет выявлять защита, работающая по предложенному алгоритму. Для этого воспользуемся известной формулой [5]

$$K_{\text{Ч}} = I_{\text{P}} / I_{\text{CP}},$$

где $K_{\text{Ч}}$ – коэффициент чувствительности токовых защит.

В нашем случае I_{P} – наибольший из токов $|I_{\text{P1}}|$, $|I_{\text{P2}}|$, $|I_{\text{P3}}|$ в ИО при $I_{\text{КМИН}}$. Найдем $I_{\text{КМИН}}$. В режиме двухфазного КЗ, например между фазами В и С, за трансформатором ответвления, ВЛ продолжает нести нагрузку, так как по ВЛ при этом КЗ протекает ток $(0,1 \div 0,3) I_{\text{РАБМАКС}}$ плюс ток нагрузки (без тока нагрузки повредившегося трансформатора), что, практически, не понижает напряжение на шинах, от которых питается ВЛ. Кроме того, в фазе С со стороны высшего напряжения трансформатора с соединением звезда-треугольник (а другие, как правило, не используются) составляющая тока КЗ в 2 раза больше, чем в двух других, и направлена противоположно им [5]. В результате через ТА фаз А, В, С линии W_1 протекают токи

$$\bar{I}_{\text{A}}^{\text{K}} = \bar{I}_{\text{HA}}^{\text{K}} - \bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}}; \bar{I}_{\text{B}}^{\text{K}} = \bar{I}_{\text{HB}}^{\text{K}} - \bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}}; \bar{I}_{\text{C}}^{\text{K}} = \bar{I}_{\text{HC}}^{\text{K}} + 2\bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}},$$

где $\bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}}$ – ток КЗ.

Тогда разности между токами фаз в ИО определяются так

$$\bar{I}_{\text{HAB}}^{\text{K}} = (\bar{I}_{\text{HA}}^{\text{K}} - \bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}}) - (\bar{I}_{\text{HB}}^{\text{K}} - \bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}}) = (\bar{I}_{\text{HA}}^{\text{PP}} - \bar{I}_{\text{HA TP}}^{\text{D}}) - (\bar{I}_{\text{HB}}^{\text{PP}} - \bar{I}_{\text{HB TP}}^{\text{D}}); \quad (2)$$

$$\bar{I}_{\text{HBC}}^{\text{K}} = (\bar{I}_{\text{HB}}^{\text{K}} - \bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}}) - (\bar{I}_{\text{HC}}^{\text{K}} + 2\bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}}) = (\bar{I}_{\text{HB}}^{\text{PP}} - \bar{I}_{\text{HB TP}}^{\text{D}}) - (\bar{I}_{\text{HC}}^{\text{PP}} - \bar{I}_{\text{HC TP}}^{\text{D}}) - 3\bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}},$$

где $\bar{I}_{\text{HA}}^{\text{K}}$, $\bar{I}_{\text{HB}}^{\text{K}}$, $\bar{I}_{\text{HC}}^{\text{K}}$; $\bar{I}_{\text{HA TP}}^{\text{D}}$, $\bar{I}_{\text{HB TP}}^{\text{D}}$, $\bar{I}_{\text{HC TP}}^{\text{D}}$ – вектора токов нагрузки в фазах А, В, С линии при рассматриваемом КЗ и трансформатора до этого КЗ.

Найдя по второму пункту алгоритма разности \bar{I}_{AB} , \bar{I}_{BC} , \bar{I}_{CA} между токами фаз А, В, С в момент КЗ и этими же токами в доаварийном режиме, например

$$\bar{I}_{\text{BC}} = \bar{I}_{\text{HBC}}^{\text{K}} - \bar{I}_{\text{HBC}}^{\text{PP}} = -3\bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}} + \bar{I}_{\text{HC TP}}^{\text{D}} - \bar{I}_{\text{HB TP}}^{\text{D}},$$

после вычитания по алгоритму, получаем токи \bar{I}_{P1} , \bar{I}_{P2} , \bar{I}_{P3} , наибольший из которых

$$\bar{I}_{\text{P2}} = \bar{I}_{\text{CA}} - \bar{I}_{\text{BC}} = 6\bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}} - 3\bar{I}_{\text{HC TP}}^{\text{D}}. \quad (3)$$

При двухфазном КЗ, например между фазами В и С линии, через ТА фаз А, В, С протекают токи

$$\bar{I}_{\text{A}}^{\text{L}} = 0, \bar{I}_{\text{B}}^{\text{L}} = -\bar{I}_{\text{K}}^{\text{L}}, \bar{I}_{\text{C}}^{\text{L}} = \bar{I}_{\text{K}}^{\text{L}},$$

где $\bar{I}_{\text{K}}^{\text{L}}$ – ток при КЗ на линии.

Определим ток $\bar{I}_{\text{P2}}^{\text{L}}$, считая, что ток в фазах W_1 доаварийного режима равен $I_{\text{РАБМАКС}}$, так как защита должна быть чувствительной и в этом случае

$$\bar{I}_{\text{P2}}^{\text{L}} = \bar{I}_{\text{CA}} - \bar{I}_{\text{BC}} = \bar{I}_{\text{K}}^{\text{L}} - \bar{I}_{\text{HCA}}^{\text{PP}} + 2\bar{I}_{\text{K}}^{\text{L}} + \bar{I}_{\text{HBC}}^{\text{PP}} = 3\bar{I}_{\text{K}}^{\text{L}} - 3\bar{I}_{\text{РАБМАКС}}. \quad (4)$$

Из формул $K_{\text{Ч}}$ и (3), считая, что вектора $\bar{I}_{\text{K}}^{\text{K}}$ и $\bar{I}_{\text{HTR}}^{\text{K}}$ ($\bar{I}_{\text{HTR}}^{\text{K}} = \bar{I}_{\text{HSTR}}^{\text{K}}$) находятся в фазе (это дает запас по чувствительности) и $K_{\text{Ч}} = 1,2$ (минимально допустимая величина для резервных защит), заменяя I_{K} на $I_{\text{КМИН}}$, получаем

$$I_{\text{КМИН}} = 0,2K_{\text{ОТС}}I_{\text{НЕМ}} + 0,5I_{\text{HTR}}. \quad (5)$$

Аналогично для двухфазного КЗ на линии

$$I_{\text{КМИН}}^{\text{L}} = 0,4K_{\text{ОТС}}I_{\text{НЕМ}} + I_{\text{РАБМАКС}}. \quad (6)$$

По характеристикам (рисунок 3), построенным по (5) и (6), можно по мощности трансформатора ответвления и току $I_{\text{РАБМАКС}}$ линии определить $I_{\text{КМИН}}$, который способна чувствовать защита при КЗ за этим трансформатором, если известны $K_{\text{ОТС}} = 1,2$ и $K_{\text{ОТС}} = 1,1$ (пунктирные линии) и $I_{\text{НЕМ}} = 0,1-0,2$. Индекс «*» обозначает, что ток отнесен к $I_{\text{РАБМАКС}}$. При $I_{\text{HTR}}^{\text{L}} = 0,1 \div 0,4$ и $K_{\text{ОТС}} = 1,2$ имеем: $I_{\text{КМИН}}^{\text{L}} = 0,1-0,2$; $I_{\text{КМИН}}^{\text{L}*} = 1,1$. Из рисунка 3 видно, что при КЗ за трансформаторами предлагаемая защита практически всегда обладает более высокой чувствительностью к двухфазным КЗ, чем известные защиты, реагирующие на токи обратной последовательности (прямая 1).

Реализация. Рассмотренные алгоритм ИО и блокировки не представляют трудностей для реализации на микропроцессорных терминалах. Реализация на статических реле, в том

числе и с помощью операционных усилителей, едва ли целесообразна, не только в связи с современными тенденциями построения защит, но и из-за особенностей выполнения, связанных, как показало изготовление опытного образца, с громоздкостью линий задержки, необходимых для запоминания разностей векторов токов фаз на время $t_n = 0,1$ с. (не говоря уже t_4). Алгоритм и блокировки могут быть введены в известные программные защиты или реализованы в виде микропроцессорной приставки для статических защит.

Вывод. Резервные защиты линий, построенные по предложенному алгоритму, смогут выявлять двухфазные КЗ за трансформаторами ответвлений, удовлетворяя как требованиям чувствительности, так и селективности при любой длине, используемых линий напряжением 6-110 кВ. При этом предлагаемая защита чувствительнее, чем традиционная на токах обратной последовательности, если допустимая нагрузка самого мощного трансформатора не превышает $0,4I_{РАБМАКС}$.

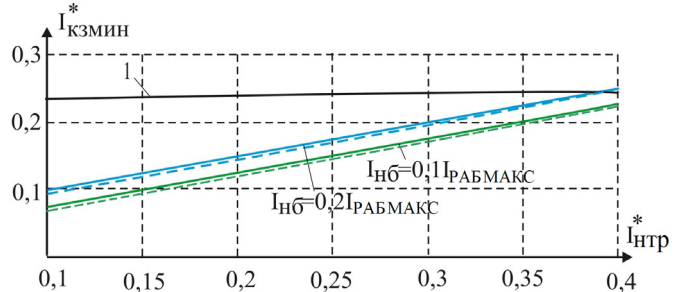


Рисунок 3 – Зависимости минимальных токов КЗ за трансформаторами ответвлений, которые способна выявлять защита, от их нагрузки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рубинчик, В.А. Резервирование отключения коротких замыканий в электрических сетях / В.А. Рубинчик. -Москва: Энергоатомиздат, 1985.
- 2 Богдан, А.В. Адаптивная резервная токовая защита тупиковых линий с ответвлениями / А.В. Богдан, М.Я. Клецель, К.И. Никитин // Электричество. -1991. -№2.
- 3 Клецель, М.Я. Резервная защита линий, реагирующая на разность модулей токов фаз и их приращения / М.Я. Клецель, К.И. Никитин // Электричество. -1993. -№ 10.
- 4 Нагай, В.И. Релейная защита дальнего резервирования трансформаторов на ответвлениях ВЛ / В.И. Нагай // Энергетик. -2001. -№3. -С. 28-29.
- 5 Федосеев, А.М. Релейная защита электрических систем: учеб. для вузов / А.М. Федосеев. -Москва: Энергия, 1976. - 560 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: линия с ответвлениями, короткие замыкания, защита, чувствительность, разность токов

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Клецель Марк Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»
 Никитин Константин Иванович, докт. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
 Таронов Константин Сергеевич, аспирант, ПГУ им. С. Торайгырова

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»
 644050, г.Омск, пр.Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
 140008, Казахстан, г.Павлодар, ул.Ломова, 64, ПГУ им. С. Торайгырова

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

А.Х. Мусин, А.А. Зарубин

RISK SIMULATION IN ELECTRIC POWER SUPPLY UNDER UNCERTAINTY
 Altai state technical university named I.I.Polzunova
 A.H. Musin, A.A. Zarubin

We consider the risk simulation model of the power supply process, where as a quantitative indicator of the size of the risk taken no received power as a result of the accident in the power system. For prognostic assessment of this indicator is necessary to know the location of the accident in the power system, which is not known in advance. To overcome this uncertainty is proposed to use a random number generator, linking expert way random numbers with the elements of the power supply system.

Keywords: electrical power system, risk, simulation, uncertainty, power, random number

Рассматривается имитационная модель риска процесса электроснабжения потребителей, где в качестве количественного показателя риска принимается размер недоотпущенной мощности в результате аварии в системе электроснабжения. Для прогнозной оценки данного показателя необходимо знать место возникновения аварии в системе электроснабжения, которое заранее неизвестно. Для преодоления этой неопределенности предлагается использовать генератор случайных чисел, связав экспертным образом случайные числа с элементами системы электроснабжения.

Горькие уроки известных тяжелых аварий в сфере электроэнергетики сделали вопросы исследования рисков чрезвычайно актуальными. Недооценка проблем исследования риска делает страну уязвимой перед лицом опасностей, бедствий, катастроф и понижает уровень ее обороноспособности.

Накопленный человечеством опыт показывает, что любая производственная деятельность сопровождается риском. В основе такого положения лежат фундаментальные законы природы, в частности, постоянная изменчивость мира. Мы живем в вероятностной среде, особенностью которой является неопределенность будущих событий. Основным источником неопределенности в производственных условиях является недостаточность и нечеткость исходной информации. Основным атрибутом неопределенности является риск. Там, где есть неопределенность, там всегда есть риск. Смысловое содержание риска может быть разным, оно зависит от цели исследования [1, 2]. Неопределенности могут иметь различную природу. В одних случаях это неопределенность фактического состояния каждого элемента системы электроснабжения, в других – неопределенность относительно места и времени возможной аварии и другие. Для производственной деятельности важна неопределенность в отношении того, достигнет ли она цели, ради которой осуществляется эта деятельность, то есть риск неуспеха. В самом общем случае влияние такой неопределенности на достижимость цели и есть риск. В данном случае риск – это мера несоответствия между результатами ожидаемыми и фактическими. Это несоответствие для процесса электроснабжения может быть оценено, например, в виде размера аварийно недоотпущенной мощности за определенный промежуток времени.

Производственная деятельность может быть представлена в виде модели на рисунке 1. Здесь важно отметить, что процесс электроснабжения рассматривается как составная часть глобального процесса – создания ценности.

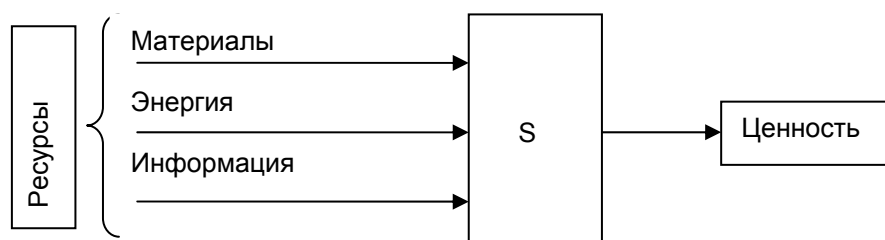


Рисунок 1 – Модель производственной деятельности: S-система

Из практики известно, что процесс функционирования производственной системы может нарушаться по различным причинам. Далее сосредоточимся на одной причине: внезапный аварийный перерыв электроснабжения. Это явление описывается термином «риск электроснабжения». Здесь под риском понимается количественная мера реализации случайных событий (аварий), влекущих за собой ущерб для населения, окружающей среды и экономики. Как количественная мера риск есть функция двух переменных: частоты и последствий нежелательного события в определенный период времени

$$R = f(N, Y), \quad (1)$$

где R – риск;
 N – частота событий;
 Y – последствия.

Для того, чтобы подчеркнуть, что риск является измеряемой величиной, можно ввести понятие «уровень риска».

Стремление обеспечить эффективную работу производственной системы приводит к необходимости прогнозной оценки уязвимости процесса электроснабжения, то есть оценки риска электроснабжения.

Здесь могут применяться различные подходы. Мы реализуем следующий подход. Объект исследования считается известным; под объектом понимается система электроснабжения, для которой известны все ее параметры (принципиальная схема, характеристики потребителей, расчетные мощности и т.д.). В рассматриваемой системе электроснабжения время от времени происходят аварии, которые рассматриваются как случайные события. Место возникновения аварии заранее неизвестно, то есть имеется неопределенность относительно места аварии. Интенсивность аварий считается известной на основе накопленных

ранее сведений об аварийности электрооборудования. То есть, реализуется принцип «завтра будет как вчера».

Задача исследования состоит в оценке риска неуспеха, где под неуспехом понимается нарушение производственного процесса создания ценности (рисунок 1) по причине аварийного перерыва электроснабжения. Другими словами, требуется оценить степень отклонения от цели функционирования системы электроснабжения. В качестве цели будем считать необходимость бесперебойного электроснабжения потребителей электрической энергией заданного качества. В такой формулировке задача оценки риска неуспеха сводится к оценке размера аварийно недоотпущенной электрической мощности за определенный промежуток времени, а риск есть показатель, характеризующий инвалидность (невалидность) процесса электроснабжения. Оставим пока (для простоты) в стороне вопрос о длительности аварийного перерыва электроснабжения и будем считать количественным показателем риска размер аварийно недоотпущенной мощности P_{ae} за годовой промежуток времени эксплуатации системы электроснабжения.

Для расчета мощности P_{ae} необходимо знать место возникновения аварии; но этот параметр, как отмечено выше, нам неизвестен. Для преодоления этой неопределенности нами предлагается воспользоваться генератором случайных чисел (входящим в состав программного обеспечения любой ЭВМ), генерирующим числа с равномерным законом распределения в интервале от нуля до единицы. Свяжем определенным образом сгенерированные числа с элементами системы электроснабжения. При наличии такой связи генерация случайного числа означает назначение места аварии случайным образом (выбор наугад). Процедуру установления связи экспертным образом покажем на следующем примере.

Пусть задан участок распределительной электрической сети (рисунок 2).

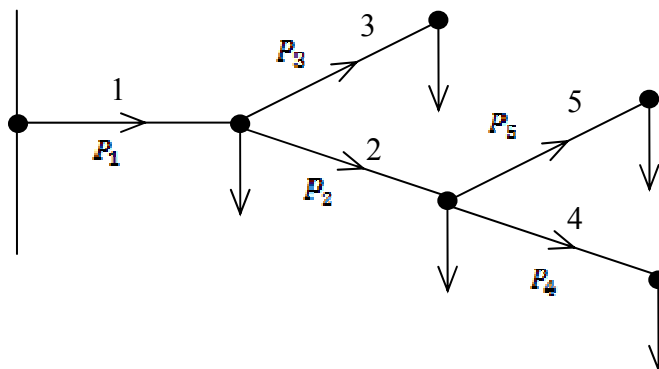


Рисунок 2 – Участок распределительной электрической сети

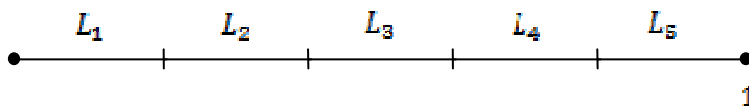


Рисунок 3 – Расположение узлов электрической сети на числовой оси, L_1-L_5 -длины участков электрической сети

Расположим в произвольном порядке длины L_i участков электрической сети на числовой оси и затем нормализуем эту ось (рисунок 3), то есть суммарная длина электрической сети ($L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5$) принимается за единицу. Далее, будем считать, что генерация случайного числа эквивалентна «бросанию игральной кости» на эту единичную ось. Тогда каждое такое «бросание» превращает исходную неопределенность (в отношении места аварии) в определенность, то есть указывает повредившийся участок электрической сети. В результате задача преодоления неопределенности решена.

Далее становится возможным определение размера аварийно недоотпущенной мощности P_{ae} , поскольку для каждого участка электрической сети (рисунок 2) известен размер передаваемой мощности. Например, при аварии на линии L_2 получим $P_{ae} = P_2$, и т.д.

Опыт «бросания игральной кости» воспроизводится столько раз, сколько происходит

аварий в электрической сети в течение года. В результате получаем массив чисел P_{aej} , характеристики которого определяются по правилам обработки статистических массивов чисел. Полученная информация позволяет разрабатывать мероприятия по управлению риском [3].

Вывод. Применение генератора случайных чисел с установлением связи случайного числа с элементами системы электроснабжения позволяет преодолеть неопределенность в отношении места возникновения аварии в системе электроснабжения при моделировании риска неуспеха производственного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мусин, А.Х. О понятии риска в системах электроснабжения городов / А.Х. Мусин, М.А. Дудкин // Электричество. -2003. - № 9.
- 2 Мусин, А.Х. Риск - показатель качества электроснабжения городов / А.Х. Мусин // Изв. вузов. Проблемы энергетики. - 2009. -№ 11/ 12.
- 3 Мусин, А.Х. Управление риском возникновения аварий в системах электроснабжения 6-10 кВ городов / А.Х. Мусин // Пром. энергетика. -1998. -№ 11.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система электроснабжения, риск, модель, неопределенность, мощность, случайное число
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Мусин Агзам Хамитович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
Зарубин Александр Анатольевич, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

АЛГОРИТМЫ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ И РЕГУЛЯТОРА В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА АДАПТИВНОГО УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Ю.В. Хрущев, Н.А. Беляев

REGULATOR AND REFERENCE MODEL BLOCK ALGORITHMS OF ADAPTIVE GENERATOR-TO-GRID SYNCHRONIZER DEVELOPMENT

National research Tomsk polytechnic university
Yu.V. Khrushchev, N.A. Belyaev

This article describes a generator-to-grid synchronization technique based on reference model control. The structural-functional scheme is presented. The reference model construction algorithms are shown as well as the regulator algorithms.

Keywords: generator-to-grid synchronization, power grid, synchronizer with reference model, generator control

Представлен подход к синтезу устройств синхронизации генераторов энергосистем на основе методов автоматического управления с эталонной моделью. Приведена структурно-функциональная схема устройства. Рассмотрены алгоритмы построения эталонной модели и алгоритмы работы регулятора, обеспечивающие движение по её траекториям.

Включение генераторов на параллельную работу с электрической сетью является одним из наиболее распространенных и ответственных процессов, осуществляемых при управлении энергоагрегатом, и требует выполнения равенств частот, фазовых углов и модулей напряжений синхронизируемых объектов к моменту подачи сигнала на включение выключателя.

Невыполнение указанных условий способно привести к повышенному износу и повреждению оборудования: подгоранию контактов выключателя, повреждению обмоток генератора и повышающего трансформатора, а также механическим воздействиям на вал энергоагрегата, крепление активного железа к корпусу статора, фундаментальные болты и др. [1, 2].

Современные алгоритмы работы устройств автоматической синхронизации генераторов с электрической сетью характеризуются двухэтапностью процедуры управления: на первом этапе осуществляется уравнивание («подгонка») частот и модулей векторов напряжений синхронизируемых объектов, а на втором – ожидание момента совпадения их фазовых углов [3, 4]. Основным недостатком таких алгоритмов является отсутствие формализованной процедуры перевода параметров синхронизации к конечным значениям, что может приводить к непредсказуемости и неопределенности результатов синхронизации, особенно в условиях наличия случайных возмущений. Разделение процедуры на два этапа в совокупно-

сти с применением методики импульсной «подгонки» частоты приводит к завышенной длительности процесса синхронизации. При этом необходимость вращательного движения векторов напряжений на этапе ожидания момента совпадения их фаз требует смещения целевых условий в направлении ухудшения качества процесса.

Несмотря на указанные выше недостатки, современные устройства автоматической синхронизации в целом способны обеспечивать приемлемое качество процесса, а длительность процедуры синхронизации в сравнении со временем пуска энергоагрегатов крупных тепловых электростанций представляется незначительной. Тем не менее, существует ряд областей, для которых уменьшение длительности процедуры синхронизации представляется важной задачей. К таким областям следует отнести: ввод генераторов в работу в условиях превышения максимально допустимых перетоков мощности по контролируемым сечениям, восстановление электроснабжения потребителей, отключенных действием противоаварийной автоматики по факту дефицита генерирующих мощностей в энергорайоне и др. Для ускорения включения оборудования в сеть в этих случаях возможно применение пониженных требований к величинам отклонений параметров синхронизации, а в отдельных случаях переход к самосинхронизации. При этом задача синхронизации приводит к необходимости принятия компромиссного решения по удовлетворению требованиям качества и быстродействия процесса.

К недостаткам алгоритмов работы современных устройств синхронизации следует отнести также отсутствие условия обеспечения конечного нулевого значения относительного ускорения векторов напряжения синхронизируемых объектов. Ненулевые значения этого параметра обуславливают наличие некоторой энергии относительного движения в момент включения выключателя, приводящей к ухудшению качества сопровождающих переходных процессов.

Для устранения указанных недостатков в Томском политехническом университете предложен подход, заключающийся в применении методов автоматического управления программным движением объектов [5] к задачам управления динамическими переходами энергосистем [6], и, в частности, процессами синхронизации генераторов энергосистем [7, 8]. При этом управление формируется на основе программных траекторий движения (ПТД), рассматриваемых в качестве эталонных моделей и обеспечивающих перевод параметров синхронизации к конечным целевым значениям

$$\delta_T = \delta_{2T} - \delta_{1T} = 2\pi n; \quad (1)$$

$$\nu_T = \omega_{2T} - \omega_{1T} = 0; \quad (2)$$

$$\alpha_T = \alpha_{2T} - \alpha_{1T} = 0, \quad (3)$$

где δ_{1T}, δ_{2T} – абсолютные значения фазовых углов, рад;

ω_{1T}, ω_{2T} – абсолютные значения угловых скоростей, рад/с;

α_{1T}, α_{2T} – абсолютные значения ускорений синхронизируемых векторов напряжения, рад/с²;

n – число взаимных оборотов, совершенных этими векторами в течение процесса управления;

$\delta_T, \nu_T, \alpha_T$ – относительные параметры вращательного движения векторов напряжения: относительный угол, относительная скорость и относительное ускорение;

T – индекс, указывающий на соответствие параметров конечному моменту времени t_T .

В порядке реализации предложенного подхода разработана структурно-функциональная схема устройства синхронизации с эталонной моделью, предусматривающая наличие следующих основных блоков: 1-измерительный блок, осуществляющий определение параметров вращательного движения векторов напряжений; 2-блок построения эталонной модели, формирующий ПТД; 3-регулятор, формирующий и реализующий управляющие воздействия, обеспечивающие движение в некоторой окрестности от построенной ПТД; 4-анализатор состояния, выполняющий формирование сигнала на включение выключателя В, исходя из текущих значений параметров синхронизации (рисунок 1).

В качестве исполнительных устройств регулирования могут выступать любые устройства, способные обеспечить требуемое качество управления: регуляторы турбин, накопители электрической энергии, устройства электрического торможения и др.

Анализ принципиальной осуществимости устройства синхронизации по принятой схеме

показал, что для работы блоков 1 и 4 возможно, при некоторой модификации, использовать алгоритмы, применяемые в существующих системах. Первоочередной разработке подлежат алгоритмы функционирования блоков 2 и 3, варианты реализации которых приведены далее.

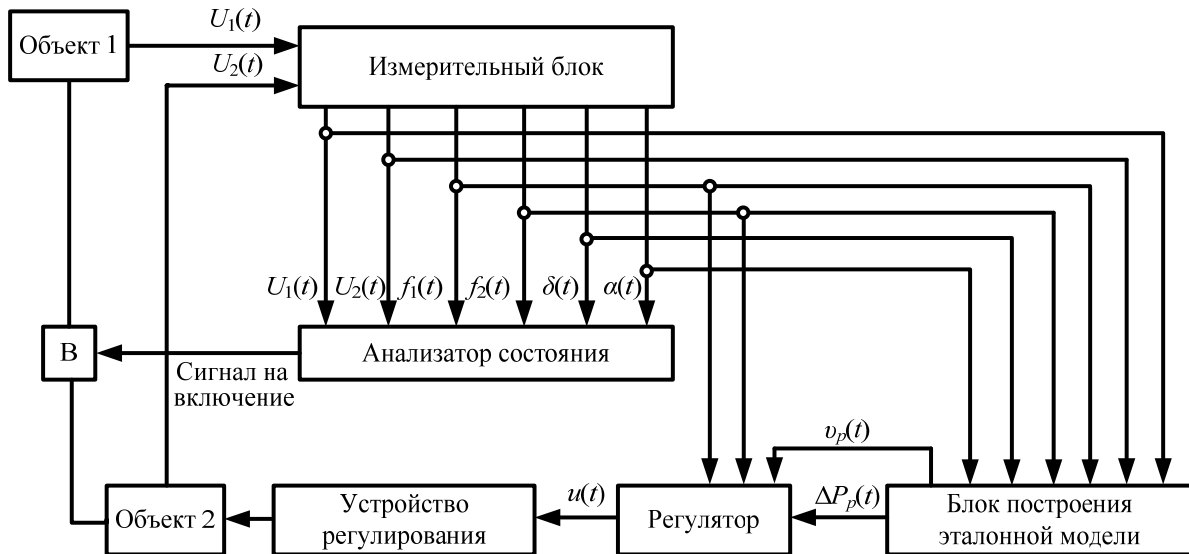


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема устройства синхронизации с эталонной моделью

Математические основы формирования алгоритмов работы блока построения эталонной модели рассмотрены в [8]. При моделировании этих алгоритмов в программных комплексах было получено, что вместо относительного ускорения в составе ПТД полезнее использовать небаланс мощности на валу генератора. Поэтому для дальнейшей разработки были приняты траектории постоянного (рисунок 2а) и линейно изменяющегося (рисунок 2б) небалансов мощности, удовлетворяющие условиям сравнительно невысоких требований к системам измерения и регулирования и являющиеся развитием алгоритмов равноускоренного и равномерно ускоренного движения, представленных в [8].

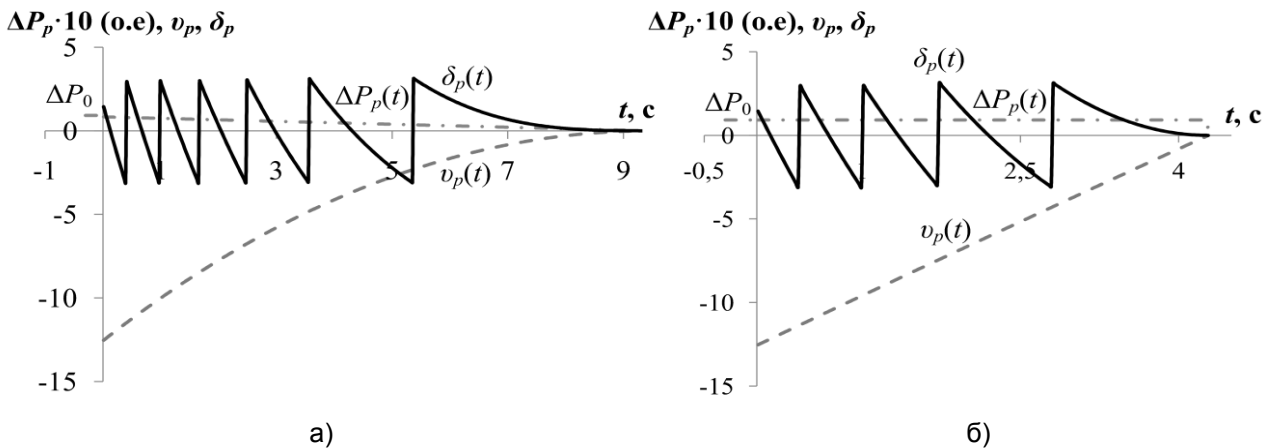


Рисунок 2 – Пример построения ПТД по алгоритмам: а)-постоянного небаланса мощности; б)-линейно изменяющегося небаланса мощности

Проведенные исследования [7, 8] показали, что предложенные алгоритмы блока построения эталонной модели способны обеспечивать успешное управление процессом синхронизации при отсутствии инерционности управления. В реальных условиях влияние этого и других факторов будет способствовать отклонению параметров синхронизации от ПТД и препятствовать их переводу в заданную область фазовых координат. Для стабилизации движения параметров в некоторой окрестности от ПТД в схему регулятора устройства синхронизации введен ПИД-регулятор, осуществляющий управление по отклонению относительной скорости (рисунок 3). При этом с учетом дифференциальной взаимосвязи между параметрами синхронизации, интегрирующее и дифференцирующее звенья способствуют

управлению по отклонениям относительных угла и ускорения.

Алгоритм управления может быть представлен в виде

$$u(t) = F(\Delta P_p, v) = \Delta P_p(t) + K_p x(t) + K_D \frac{dx(t)}{dt} + K_I \int x(t) dt, \quad (4)$$

где K_p, K_D, K_I – коэффициенты усиления пропорционального, дифференцирующего и интегрирующего звеньев соответственно;

$x(t)$ – величина отклонения относительной скорости от ПТД

$$x(t) = u_p(t) - u(t).$$

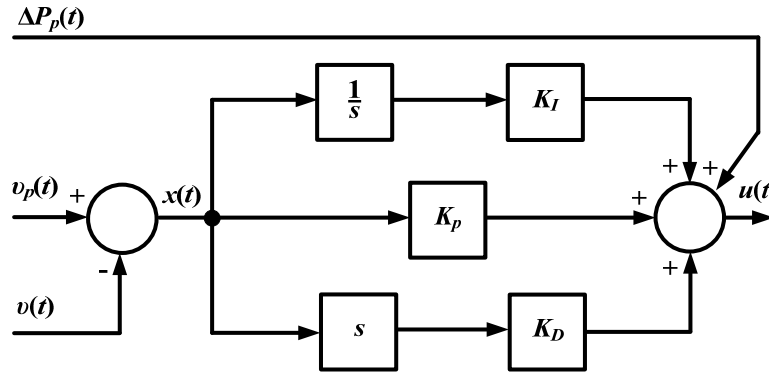


Рисунок 3 – Схема регулятора устройства синхронизации с эталонной моделью

Поскольку единый подход к определению параметров настройки регуляторов отсутствует, первичный выбор коэффициентов усиления его звеньев осуществлён согласно методике Циглера (J. G. Ziegler) и Николса (N.B. Nichols) [9]. После чего использовалась ручная коррекция параметров методом последовательных приближений с учетом общих правил настройки [10].

Экспериментальная апробация предложенных алгоритмов производилась в среде моделирования MATLAB Simulink, где была создана модель энергосистемы (ЭЭС) типа «машина-шины», представленная на рисунке 4.

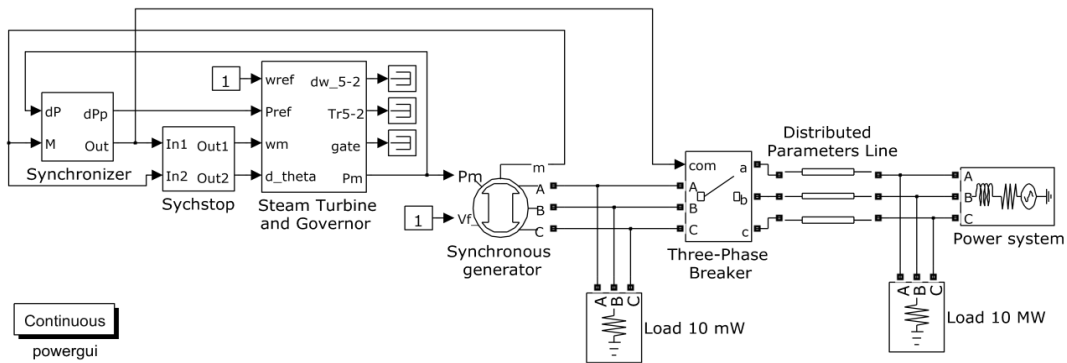


Рисунок 4 – Модель энергосистемы «машина-шины» в среде MATLAB Simulink

Модель энергосистемы выполнена при помощи стандартных блоков библиотеки SimPowerSystems. В ходе моделирования воспроизводился процесс включения синхронного генератора (Synchronous generator) на параллельную работу с шинами бесконечной мощности (Power System) и линией электропередачи (Distributed Parameters Line). С целью обеспечения работоспособности модели при отключенном выключателе (Three-Phase Breaker) введен блок нагрузки Load 10 mW. Параметры синхронного генератора, а также модели однофазной паровой турбины и ее системы регулирования (Steam Turbine and Governor) выбраны в соответствии с приведенными в [11] значениями. Для измерения частоты и фазы вектора напряжения генератора использован стандартный измерительный канал блока Synchronous generator, параметры сети приняты исходя из условия постоянства частоты в ЭЭС.

Блок Synchronizer воссоздает предложенные алгоритмы работы устройства синхрони-

зации с эталонной моделью и формирует управляющие воздействия $dP_p = \Delta P_p$ на соответствующий вход регулятора турбины. Поступающее на вход синхронизатора реальное значение небаланса мощности генератора $dP = \Delta P$ служит для построения измерительных зависимостей и не участвует в управлении. При выполнении условий синхронизации через выход Out формируется команда на включение выключателя и перевод системы регулирования турбины в режим параллельной работы с сетью. Последние функции реализованы в блоке Synchstop.

Результаты моделирования процесса синхронизации по алгоритму постоянного небаланса мощности представлены на рисунок 5.

Длительность процедуры синхронизации составила 28,2 с. Как видно из рисунка 5, процесс синхронизации по алгоритму постоянного небаланса мощности позволяет переводить относительные скорость и угол к значениям, допустимым для включения генератора на параллельную работу с сетью: $\delta_T = -0,0003^\circ$; $u_T = -0,0019$ Гц. При этом величина небаланса мощности с учетом инерционности управления была приведена к заданному значению посредством стабилизирующих управляющих воздействий. К недостаткам представленного на рисунке 5 алгоритма следует отнести необходимость резкого обнуления величины небаланса мощности в конце интервала управления, что представляется затруднительным даже для систем регулирования, обладающих сравнительно невысокими показателями инерционности. Организация процедуры обнуления небаланса мощности при использовании инерционных исполнительных устройств регулирования является отдельной задачей.

Результаты моделирования процесса синхронизации по алгоритму линейно изменяющегося небаланса представлены на рисунке 6.

Длительность процедуры синхронизации составила 54 с. Параметры синхронизации в момент включения были равны: относительный угол $\delta_T = -0,07^\circ$; относительная скорость $u_T = -0,005$ Гц.

Полученные в ходе моделирования результаты (см. рисунок 5 и 6) показали, что принятые к разработке алгоритмы блока построения эталонной модели и регулятора позволяют выполнять качественное и сравнительно быстрое управление, обеспечивающее одновременный перевод параметров синхронизации в заданную область конечных значений. Выявлено, что инерционность исполнительных устройств регулирования требует увеличения времени управления с целью снижения колебательности управляющих воздействий при осуществлении стабилизирующего управления в окрестности ПТД.

Выводы:

– Результаты теоретического анализа и компьютерного моделирования дают основания

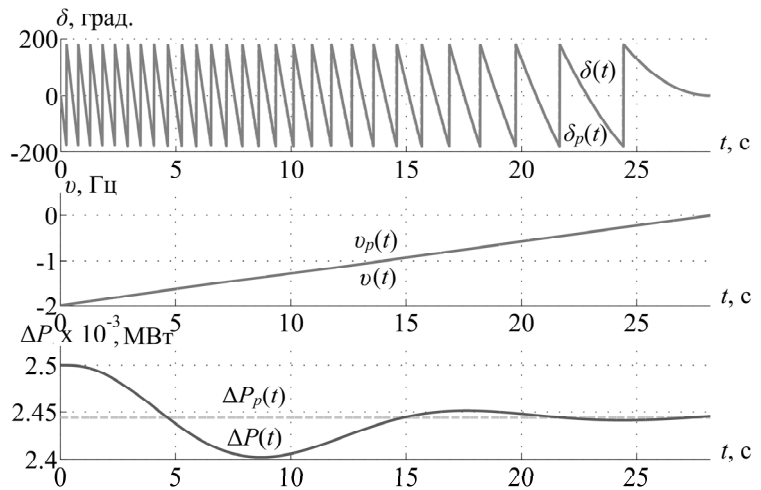


Рисунок 5 – Результаты моделирования процесса синхронизации по алгоритму постоянного небаланса мощности

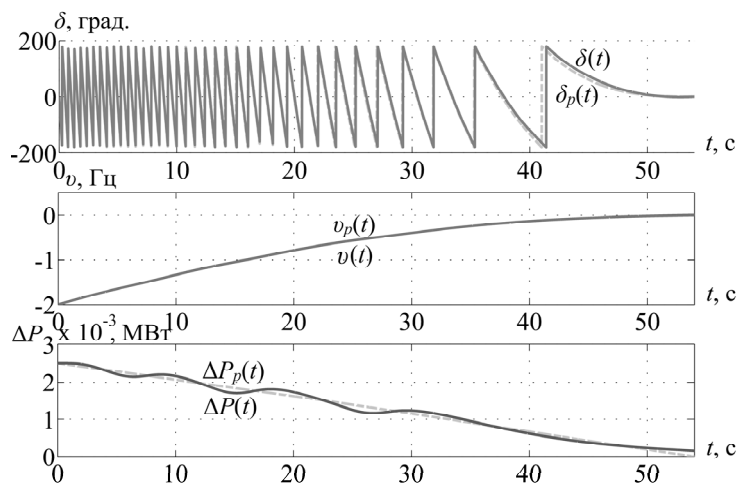


Рисунок 6 – Результаты моделирования процесса синхронизации по алгоритму линейно изменяющегося небаланса мощности

для положительной оценки перспектив разработки эффективных устройств синхронизации генераторов на принципах построения адаптивных систем управления программным движением объектов. Основными звеньями этих систем являются программные траектории движения, которые предлагается рассматривать в качестве эталонных моделей, функционирующих по строго определенным законам. Ввод в рассмотрение таких моделей позволяет использовать широкий спектр способов адаптивного автоматического управления применительно к синтезу устройств синхронизации генераторов и частей электроэнергетических систем.

– Алгоритмы работы современных устройств точной синхронизации традиционно направлены на выполнение условий равенства фазовых углов и скоростей вращения векторов синхронизируемых напряжений. Достижение равенства угловых ускорений при этом не предусматривается, вследствие чего не устраняется возможность наличия ненулевой энергии относительного движения синхронизируемых объектов в момент включения их на параллельную работу приводящей к ухудшению качества сопровождающих переходных процессов. По этой причине предлагается включить в перечень целевых условий для разрабатываемых устройств автоматической точной синхронизации обеспечение к концу процесса равенства угловых ускорений векторов синхронизируемых напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Fundamentals and advancements in generator synchronizing systems / Michael J. Thompson. 2012 65th annual conference for protective relay engineers, pages 203-214, ISBN 978-1-4673-1840-2, IEEE 2012.
- 2 Хачатуров, А.А. Несинхронные включения и ресинхронизация в энергосистемах / А.А. Хачатуров. -М.: Энергия, 1969. - 216 с., ил.
- 3 Овчаренко, Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: Учебник для вузов / Под ред. А.Ф. Дьякова. -М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. -504 с.: ил.
- 4 SYNCHROTRACT. Synchronizing and paralleling devices and systems. Data sheet, 3BHS901067 E01 Rev. C, ABB, 2012.
- 5 Тимофеев, А.В. Построение адаптивных систем управления программным движением / А.В. Тимофеев. -Л.: Энергия. Ленинград. отделение, 1980. -88 с.: ил.
- 6 Хрущёв, Ю.В. Управление движением генераторов в динамических переходах энергосистем. -Томск: STT, 2001. -310 с.
- 7 Абеуов, Р.Б. Синтез адаптивных синхронизаторов для мини-энергосистем с управлением по программным траекториям движения генераторов и подсистем // Автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. -Томск, 2008. -18 с.
- 8 Хрущёв, Ю.В. Алгоритмы эталонных моделей для построения устройств адаптивной синхронизации генераторов и частей электроэнергетических систем / Ю.В. Хрущёв, Н.А. Беляев // Известия ТПУ. -2013. -№4. -С. 168-174.
- 9 Ziegler, J.G. Optimum settings for automatic controllers. / J.G. Ziegler, N.B. Nichols // -Trans. ASME, -1942. -vol.64, -P. 759-768.
- 10 Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. / В.В. Денисенко. -М.: Горячая линия-Телеком, 2009. -608 с., ил.
- 11 IEEE SSR Working Group, «Second Benchmark Model for Computer Simulation of Subsynchronous Resonance», IEEE Trans. On PAS, vol. PAS-104, No.5, pp.1057-1066, May 1985.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: синхронизация генератора, электрическая сеть, синхронизатор с эталонной моделью, управление генератором

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Хрущёв Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»
Беляев Николай Александрович, инженер ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ САЯНОГОРСКОГО УЗЛА ХАКАССКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»
Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Т.Ю. Зарубина, Е.В. Платонова, Г.Н. Чистяков

MATHEMATICAL MODELING OF SAYANOGORSK COMPONENT IN KHAKASS POWER SYSTEM WITH ALLOWANCE OF REACTIVE POWER COMPENSATION

Siberian federal university
Khakass technical institute – a branch SFU
T.Yu. Zarubina, E.V. Platonova, G.N. Chistyakov

This article describes the electric power quality problem of waveform distortion. MatLab program model can make voltages and currents harmonic analysis, in order to assess capacitor bank effect on electric power quality depending on system configuration. It was suggested that capacitor banks should be replaced by filter compensating device.

Keywords: electric power quality, non-linear paver, nonsinusoidality voltage, nonsinusoidality current, highest harmonics, capacitor bank, Matlab package

Рассматривается проблема качества электрической энергии по критерию несинусоидальности. Модель в программе MatLab позволяет выполнить гармонический анализ токов и напряжений с целью оценки влияния батарей статических конденсаторов на показатели качества электроэнергии в зависимости от конфигурации сети. Предложено заменить батареи статических конденсаторов на фильтр-компенсирующие устройства.

После аварии на Саяно-Шушенской ГЭС в электроэнергетической системе Хакасии и Юга Красноярского края выполняется компенсация реактивной мощности для повышения надежности на шинах 220 кВ подстанций «Означенное 500» и «Алюминиевая 500». С этой целью установлены батареи статических конденсаторов (БСК) мощностью 416 МВАр на подстанции «Означенное 500» и 312 МВАр на подстанции «Алюминиевая 500». После модернизации энергоблоков и восстановления Саяно-Шушенской ГЭС БСК указанных выше подстанций остались в работе с полной проектной мощностью.

Требования по соблюдению качества электрической энергии (КЭЭ), как продукции обусловлены непрерывностью и несовпадением во времени процессов ее производства, передачи, распределения и потребления, невозможностью ее хранения и возврата. Кроме того, качество электрической энергии в электрических сетях по отдельным показателям существенно зависит от состава потребителей. Требования к качеству электроэнергии изложены в государственном стандарте ГОСТ 32144-2013 [1].

Проблема качества электроэнергии актуальна по всей территории РФ. Но в отдельных регионах, например в Сибири, сформировались комплексы электрических сетей уникальные по своей мощности и степени искаженности кривых тока и напряжения. В связи с этим обострилась проблема электромагнитной совместимости [2]. Сегодня в Сибири имеется большое количество несимметричных и нелинейных нагрузок, в том числе за счет тяговых подстанций железных дорог, а так же кремневых понижающих подстанций для питания электролизеров алюминиевых производств.

Использование выпрямленного тока на алюминиевых заводах, взаимодействие большого количества удаленных искажающих нагрузок, а также резкопеременный режим работы тяговых подстанций железных дорог придает изменениям напряжения высших гармоник в сетях высокого напряжения вероятностный характер.

Установка БСК для компенсации реактивной мощности приводит к изменению параметров сети и возможному резонансу на отдельных гармониках со значительным увеличением токов этих гармоник. Кроме этого, длительное воздействие гармоник напряжения на емкость приводит к перегреву диэлектрика и как следствие к выходу из строя конденсатора батареи.

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) применительно к сетям высокого напряжения были разработаны методы статистического анализа режимов высших гармоник, методы вероятностного расчета параметров режима высших гармоник в сложных сетях и методы нормализации коэффициента гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$ [1] в сетях высокого напряжения с учетом вероятностного взаимодействия большого количества мощных искажающих нагрузок. В результате статистической обработки измерений можно определить параметры сети и нагрузок, используемые для расчета режимов высших гармоник и для обоснования средств нормализации коэффициента несинусоидальности K_U и $K_{U(n)}$ [3].

В [4] используется представление узла сети через эквивалентный активный двухполюсник. При анализе узла исследуются взаимодействия потребителей узла с сетью и их вклад в режимы высших гармоник. Статический анализ случайных комплексных значений измеренных величин напряжений и токов гармоник дает возможность определить параметры их распределения и параметры сети и нагрузок, используемые при расчетах режимов высших гармоник.

Для повышения КЭЭ необходимо получить объективную информацию о состоянии электроэнергетической системы (ЭЭС), проанализировать показатели качества [5]. Состав реальной сети изменчив, следовательно, и ее режим будет отличаться от режима на модели. Относительные погрешности моделирования напряжений высших гармоник могут достигать 50% , из-за вероятностного характера параметров элементов сети и несоответствия расчетного и измеренного режимов. При расчете напряжений высших гармоник можно допускать относительную методическую погрешность величиной 10% верхнего значения, соответствующего вероятности 95% (точность измерения напряжений высших гармоник) [4].

Точные аналитические методы требуют большого количества исходных данных и не учитывают возможных изменений случайного характера параметров и режимов работы потребителей с нелинейной нагрузкой.

Цель работы - оценить влияние батарей статических конденсаторов (БСК) на режим ЭЭС по напряжению в узловых точках и на показатели КЭЭ в зависимости от конфигурации сети и состава генерирующих источников, а также оценить влияние БСК на величину напряжений в сети и активные потери.

Для исследования режимов в динамическом режиме нагрузки, была разработана физическая модель в программе MatLab 7.0 с использованием библиотек Simulink. Библиотека SimPowerSystems содержит набор блоков, необходимых для имитационного моделирования электротехнических устройств. Это дает возможность не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа в ЭЭС. В частности выполнить гармонический анализ токов и напряжений [6]. Использование MatLab позволяет разработать модель любую конфигурации сети, с постоянно изменяющейся нагрузкой, что позволяет оценить показатели для различных схем узлов энергосистемы, различных реактивных мощностей БСК.

В состав Саяногорского узла Хакасской энергосистемы (рисунок 1) входят Саяно-Шушенская ГЭС мощностью 6400 МВт, Майнская ГЭС мощностью 321 МВт, а также Саяногорский (подстанция «Означенное») и Хакасский (подстанция «Алюминиевая») алюминиевые заводы, которые являются мощными нелинейными электроприемниками. Исходя из режимных параметров работы ГЭС, на рисунке 1 показаны четыре генератора Саяно-Шушенской ГЭС и два генератора Майнской ГЭС.

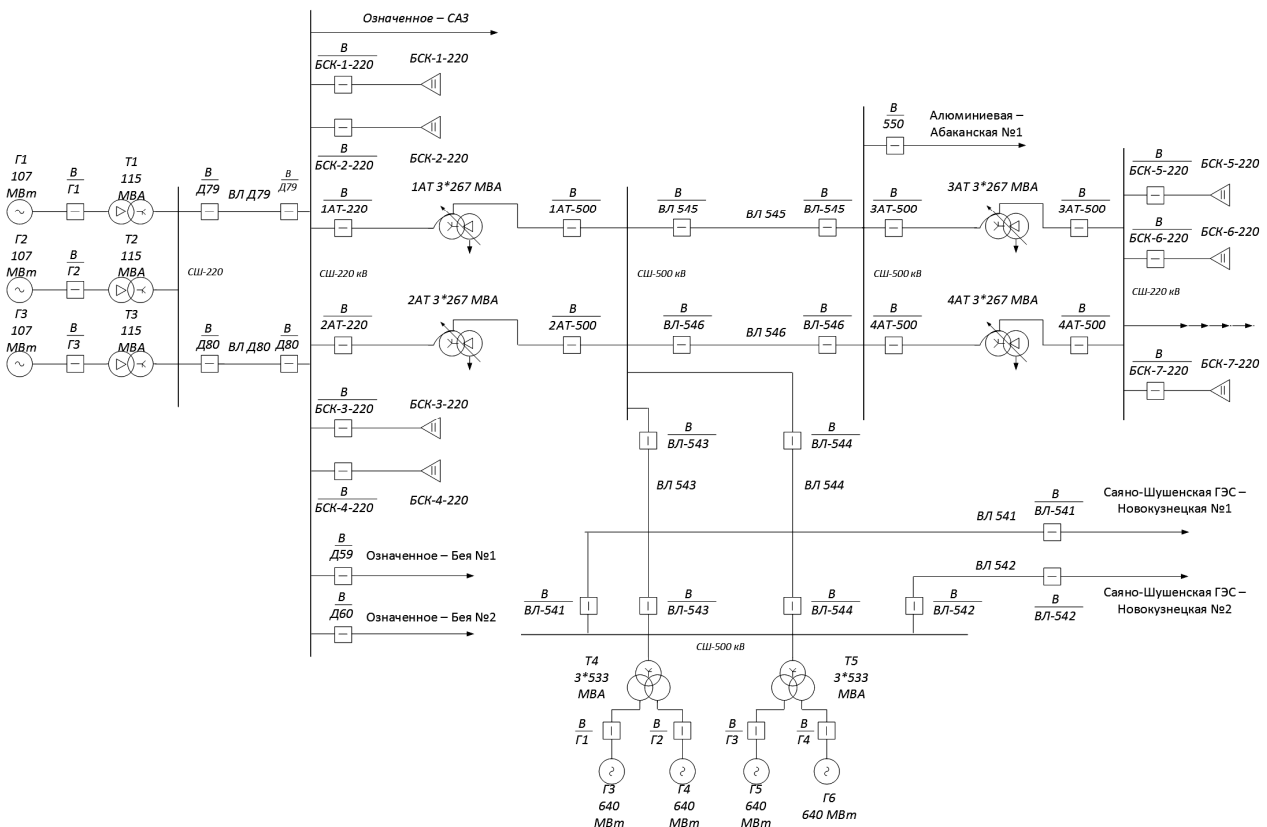


Рисунок 1 – Схема Саяногорского узла Хакасской энергосистемы

С целью выяснения влияния работы БСК на режим энергосистемы, моделирование выполнялось для различных конфигураций сети: включение различного числа генераторов МГЭС и СШГЭС, включение в работу различного числа БСК.

Результаты моделирования. В таблице 1 представлены потери мощности и напряжения в линиях Саяно-Шушенская ГЭС-ПС Означенное (544, 543), ПС Означенное-ПС Алюминиевая (545,546) при трёх вариантах включения БСК в сеть:

Вариант 1 – все БСК отключены;

Вариант 2 – БСК подключены на ПС Означенное и отключены на ПС Алюминиевая;

Вариант 3 – БСК подключены на ПС Означенное и на ПС Алюминиевая.

Таблица 1 – Потери мощности и напряжения в линиях

	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
	545,546	543,544	545,546	543,544	545,546	543,544
Номер ВЛ	545,546	543,544	545,546	543,544	545,546	543,544
Количество включенных БСК	0	0	4	4	7	7
Генерируемая мощность БСК, МВар	0	0	400	400	700	700
Активная мощность в линии, кВт	557391	921911	569677	875435	513661	898547
Реактивная мощность в линии, кВАр	251239	591594	263879	551802	206758	511456
Напряжение, кВ	490	496	507	513	525	529
Активное сопротивление линии, Ом/км	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Реактивное сопротивление линии, Ом/км	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306
Длина линии, км	41	31	41	31	41	31
Потери активной мощности в линии, кВт	1595,797	3779,937	1571,755	3153,585	1140,177	2960,448
Потери напряжения в линии, кВ	7,599	12,755	7,682	11,526	5,944	10,488
Потери активной мощности в линии, %	0,29	0,41	0,28	0,36	0,22	0,33
Потери напряжения в линии, %	1,52	2,55	1,54	2,31	1,19	2,10

Результаты моделирования и расчета позволяют сделать вывод о том, что при всех подключенных БСК потери напряжения и мощности минимальны

Результаты исследования отклонения напряжения потребителей на шинах Хакасского (ХАЗ) и Саянского алюминиевых заводов (САЗ), при 3 вариантах включения БСК приведены в таблице 2. Минимальные отклонения напряжения на шинах основных потребителей наблюдаются в случае включения всех БСК. При отсутствии компенсации реактивной мощности отклонения напряжения превышают минимально допустимое более чем на 5%, что удовлетворяет требованиям [1]. Минимальные отклонения наблюдаются при включении всех БСК, причем отклонения в большую сторону, что позволяет уменьшить потери энергии и мощности и повысить эффективность работы электролизеров производства алюминия.

Таблица 2 – Отклонения напряжения на шинах потребителей ХАЗ и САЗ

	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
	ХАЗ	САЗ	ХАЗ	САЗ	ХАЗ	САЗ
Главные потребители электроэнергии	ХАЗ	САЗ	ХАЗ	САЗ	ХАЗ	САЗ
Количество включенных БСК	0	0	4	4	7	7
Генерируемая мощность БСК, МВар	0	0	400	400	700	700
Напряжения, кВ	205	201	212	215	230	221
Отклонения, %	-6,82	-8,64	-3,64	-2,27	4,55	0,45

Графики напряжения на шинах Майнской ГЭС при 3 вариантах включения БСК: все БСК отключены (рисунок 3), БСК включена на ПС Означенное и отключены на ПС Алюминиевая (рисунок 4), БСК включены на ПС Означенное и на ПС Алюминиевая (рисунок 5) показаны на соответствующих рисунках 3-5.

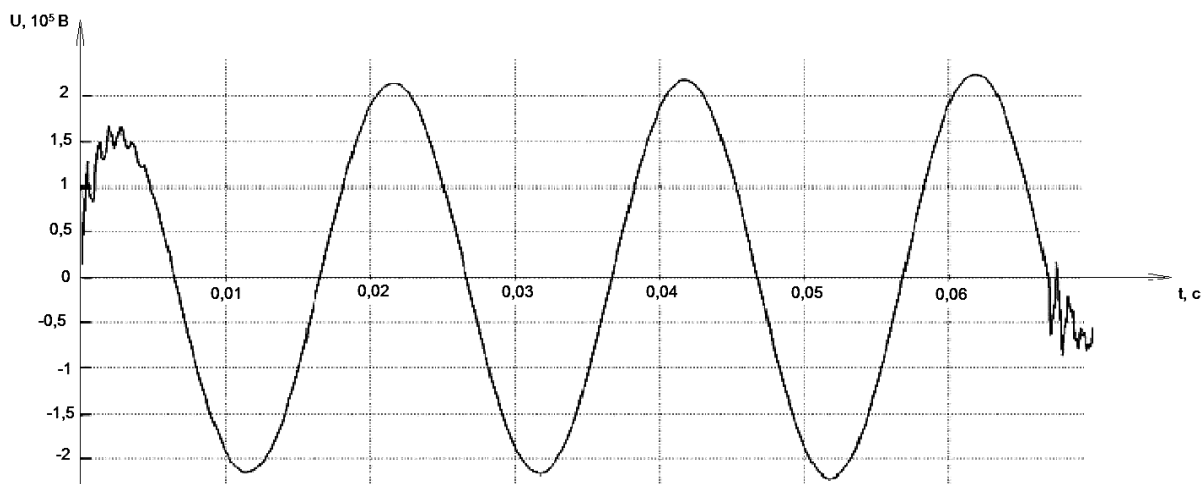


Рисунок 3 – Все БСК отключены

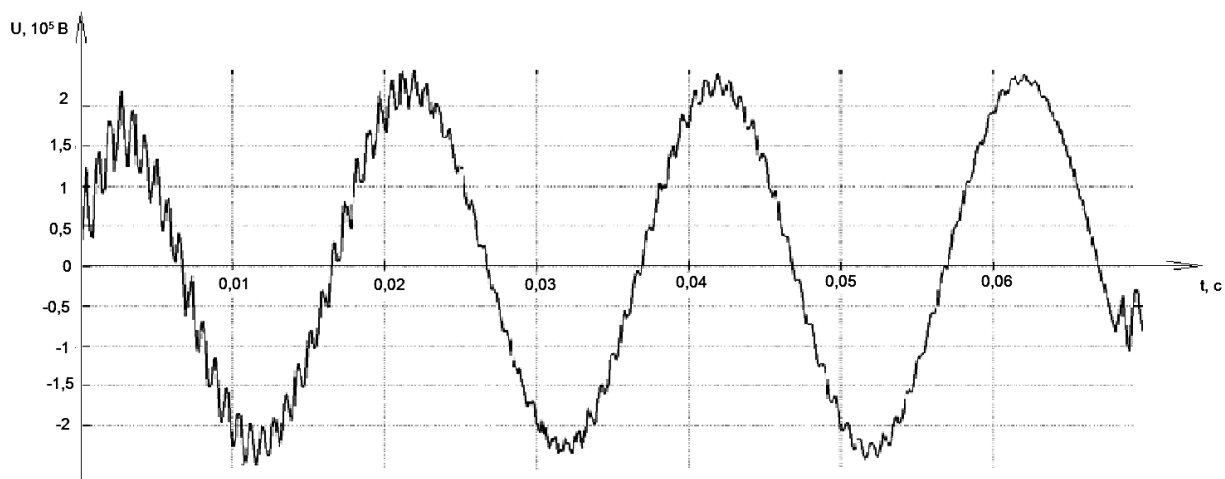


Рисунок 4 – Подключена БСК на подстанции Означенное 500 и отключены на подстанции Алюминиевая 500

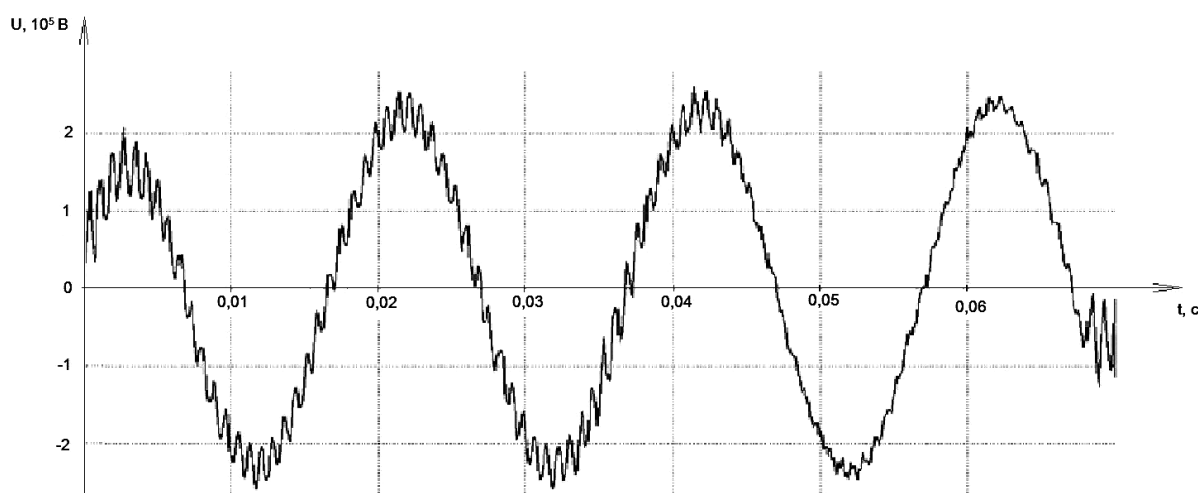


Рисунок 5 – Все БСК подключены (на подстанции Означенное и на подстанции Алюминиевая)

Выводы:

– Проанализировав результаты моделирования при различных режимах работы генераторов Майнской ГЭС и Саяно-Шушенской ГЭС, а также при различных комбинациях подключения БСК можно сделать вывод, что БСК уменьшает потери в линиях и повышает уровень напряжений у потребителей.

– Наличие включенных БСК оказывает положительное влияние на СЭС: повышает надежность электроснабжения, увеличивает уровень напряжения, улучшает устойчивость системы.

– Наряду с положительным влиянием БСК при их использовании, наблюдается ухудшение качества напряжения по критерию несинусоидальности, что представлено на рисунках 4 и 5.

– Замена БСК на фильтрокомпенсирующее устройство из RLC элементов позволит улучшить качество напряжения по критерию несинусоидальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Москва: Стандартинформ, 2014. -15 с.
- 2 Курбацкий, В.Г. Мониторинг качества электроэнергии в электрических сетях России для выбора мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости: автореф. ... дис. д-ра техн. наук / В.Г. Курбацкий. -Иркутск, 1997. -42 с.
- 3 Смирнов, С.С. Высшие гармоники в сетях высокого напряжения / С.С. Смирнов. -Новосибирск: Наука, 2010. -327 с.
- 4 ГОСТ 33073-2014. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Москва: Стандартинформ, 2014. -81 с.
- 5 Платонова, Е.В. Мониторинг электромагнитной обстановки систем электроснабжения / Е.В. Платонова, Г.Н. Чистяков, Н.И. Зубков // Электро. -2005. -№ 1. -С. 22-25.
- 6 Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств и систем в Matlab, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. -Санкт-Петербург: Питер, 2008. -290 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *качество электроэнергии, нелинейная нагрузка, несинусоидальность напряжения, несинусоидальность тока, высшие гармоники, батареи статических конденсаторов, пакет MATLAB*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Зарубина Татьяна Юрьевна, аспирант ФГАУО ВПО «СФУ»
Платонова Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент ХТИ - филиал ФГАУО ВПО «СФУ»
Чистяков Геннадий Николаевич, канд. техн. наук, доцент ХТИ - филиал ФГАУО ВПО «СФУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *660075, г.Красноярск, ул.Л.Прушинской, 2, ФГАУО ВПО «СФУ»
655017, г.Абакан, ул. Щетинкина, 27, ХТИ - филиал ФГАУО ВПО «СФУ»*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»

С.В. Горелов, Г.Р. Манчук, К.С. Мочалин, О.Н. Левчишин, С.М. Спирев

REGULARITIES OF CHANGE OF ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF ELECTROTECHNICAL COMPOSITE MATERIALS
Siberian state university of water transport
Novosibirsk state university of architecture and civil engineering
S.V. Gorelov, G.R. Manchuk, K.S. Mochalin, O.N. Levchishin, S.M. Spirev

Results of electric tests of composite radiators and heaters for electric substations and stations are considered.

Keywords: composite, nonlinear resistor, betel, reliability, power plant

Рассмотрены результаты электрических испытаний композитных радиаторов и обогревателей для электрических подстанций и станций.

В начале XXI века происходит увеличение количества изделий из композитных материалов электротехнического назначения, например, электроизоляционных конструкций. Разработка новых схемных мероприятий при модернизации электротехнического оборудования на электрических подстанциях и станциях основывается на применении композитных изделий. В России нашли применение композиционные резисторы и обогреватели на основе силикатных связей, например, электропроводного бетона – бетэла [1–5]. Проводятся исследования влияния различных факторов на электрофизические характеристики бетэла.

В ряду факторов, наиболее сильно влияющих на электрические параметры электропроводных композитных изделий, необходимо отметить число воздействий напряжения (n) – то есть, уровень наработки.

Исследование влияния числа воздействий при различных напряжённостях E , длительности импульса $\tau_{им}$ и энергии импульса $\omega_{им}$ электрической нагрузки проведено на образцах – цилиндрах (диаметром – 200 мм и высотой – 100 мм), сформированных по номиналам в 4 группы: $\rho_o = (0,3-0,4)$; $(1,0-1,5)$; $(3,0-4,0)$ и $(8,0-10,0)$ Ом·м.

Результаты анализировались по зависимостям $R_o(n)$ и $R_E(n)$. Первая характеризует изменение сопротивления в слабом поле до и после включения под нагрузку при увеличении числа воздействий. Вторая – изменение от воздействия к воздействию мгновенных значений сопротивления при амплитудном значении напряжения в начале и конце импульса.

Полные отказы образцов в результате многократных воздействий напряжения наблюдаются в виде коротких замыканий и механических разрушений. В основном происходят они в конце импульса напряжения. Короткие замыкания проявляются как пробой образца или перекрытие его по поверхности.

Основным механизмом коротких замыканий в композиции является электротепловой пробой, после которого образуется один или несколько каналов диаметром (1–2) мм. Причиной развития пробоя является локальная концентрация тока в микрообъёме композиции. Пробой происходит в теле образца, вдали от боковой поверхности и завершается его механическим разрушением. Он является основным видом внезапных отказов. Случаи перекрытия образцов по поверхности редки и фиксировались, главным образом, в первых включениях образцов под нагрузку и в испытаниях на перегрузочную способность.

Разрушение образцов вызвано термомеханическими напряжениями в объёме, возни-

кающими при нагреве композиции вследствие неравенства коэффициентов термического расширения и парообразования в результате испарения избыточной воды при $T > 373$ К. Когда механические напряжения превышают предел прочности образец разрушается. Такой вид отказа наиболее типичен для образцов, не прошедших перед испытаниями сушки и в режимах, близких к предельным. Как правило, термомеханические разрушения наблюдаются в нескольких начальных включениях образцов под нагрузку. Многократные воздействия напряжения приводят к возникновению трещин вдоль и поперёк тела образца, отслоению поверхности электродов и т.п.

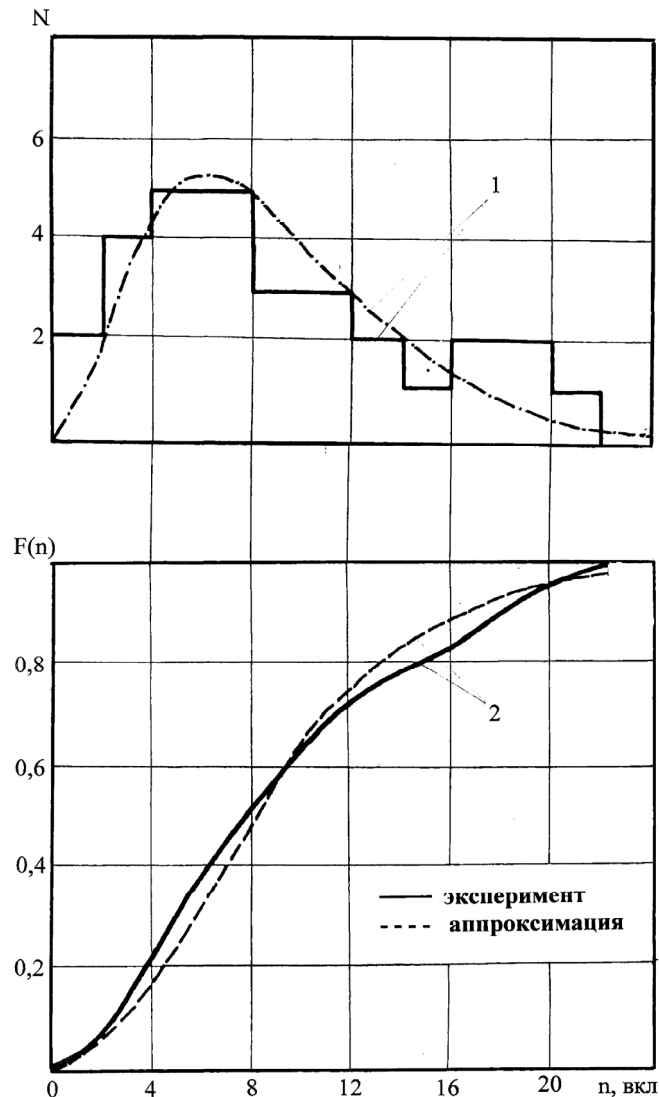


Рисунок 1 – Графики функции плотности распределения (1) и функции распределения (2) от числа включений бетэловых образцов до отказа

Результаты электрических испытаний композиционных образцов показывают, что надёжность существенно зависит от состава композиции.

Оценка количественных показателей надёжности, таких, как закон распределения $F(n)$, среднее число включений под нагрузку \bar{n} , производилась путём статистической обработки экспериментальных данных по деградационным и полным отказам. В качестве деградационного отказа образца принималось отклонение сопротивления R_E на 15% по сравнению с начальным значением.

На рисунке 1 построена гистограмма полных отказов образцов номинала (0,3–0,4) Ом·м, испытанных при $E = 2,4 \cdot 10^4$ В·м⁻¹ и $\tau = 0,5$ с.

Расчёт среднего и среднеквадратичного отклонения даёт следующие результаты: $n = 9,6$; $\sigma_n = 5,65$. Для аппроксимации полученного распределения было использовано гамма-распределение. В этом случае плотность распределения вероятностей

$$f(x) = \frac{1}{\alpha! \beta^{\alpha+1}} x^\alpha \exp(x/\beta), \quad (1)$$

где $\beta > 0, \alpha > -1, x > 0.$

Математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение, соответственно

$$m = \beta(\alpha + 1); \sigma = \beta\sqrt{\alpha + 1}. \quad (2)$$

Интегральная функция гамма-распределения есть нормированная на единицу неполная гамма-функция

$$f(x) = \int_0^x \frac{1}{\alpha! \beta^{\alpha+1}} x^\alpha \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) dx = \frac{\Gamma(x/\beta, \alpha + 1)}{\alpha! \beta^{\alpha+1}} \leq 1. \quad (3)$$

Плотность распределения отказов $f(n)$ в исследованном режиме описывается функцией (1) при значениях $\alpha = 2,0; \beta = 5,0$ то есть

$$f(n) = 0,018 n^2 \exp(-0,33n). \quad (4)$$

Огибающая кривая $f(n)$ приведена на рисунке 1 (линия 1). По (2) найдены значения $m = 9$ и $\sigma = 5,2$. Интегральная функция распределения при этих m и σ

$$f(n) = 1 - 0,054 \exp(-0,33n)(n^2 + 6n + 18) \quad (5)$$

На рисунке 1 (линия 2) приведены графики функций распределения отказов. Оценка степени согласованности теоретического и экспериментального распределения производилась по методу Колмогорова [1, 3]. Наибольшее расхождение между двумя распределениями составляет величину $H = 0,09$ (рисунок 1, линия 2). Сравнение полученного значения $H = 0,09$ с критическим для объёма выборки $N = 30$ и доверительной вероятности $P = 0,9$ показало, что гипотеза о предполагаемом гамма-распределении может быть принята.

Определение среднего числа включений под нагрузку проводилось на основании анализа деградационных отказов по кривым стабильности образцов. Характер распределения числа включений под нагрузку, приводящих к отклонению сопротивления за пределы 15%, симметричный. Определение средних значений для групп образцов производилось с помощью размаховых оценок. Среднее число включений для образцов номинала (3,0–4,0) Ом·м, испытанных при $E = 4,4 \cdot 10^4$ В·м⁻¹ и $\tau = 0,5$ с, равно $\bar{n} = 8,3$; для резисторов с $\rho_0 = (8,0–10,0)$ Ом·м, испытанных в тех же условиях $\bar{n} = 13,8$.

На основании данных о внезапных и деградационных отказах на рисунке 2 построена зависимость $E(\rho_0)$. Среднее число включений принято равным $\bar{n} \approx 10$ для всех групп образцов. Из рисунка 2 видно, что с увеличением удельного сопротивления растёт напряжённость. По этому графику трудно судить о достоинствах того или иного номинала с точки зрения пропускной способности. Наглядное представление о возможностях бетэла исследованного диапазона значений сопротивлений даёт график зависимости $\omega(\rho_0)$.

Максимум удельной диссипированной энергии $\omega \approx 0,4 \cdot 10^9$ Дж·м⁻³ приходится на область значений (0,3–0,5) Ом·м. Образцы этого номинала отличаются не только стабильностью электрических параметров, но и наибольшим значением допустимой энергии.

Возможное число включений под нагрузку зависит от уровня воздействующего напряжения. С уменьшением напряжения (рисунок 3) допустимое число включений возрастает. У высокоомных образцов с ростом напряжённости увеличивается интенсивность старения, сопротивление выходит за допустимые пределы при меньшем числе включений, увеличивается вероятность полных отказов. Все это даёт основание применить понятие ресурса пропускной способности, сформулированное в [1, 3], для карбидокремниевых резисторов. Эмпирическая формула, связывающая среднее значение ресурса пропускной способности (\bar{A}), интенсивность (E) и допустимое число воздействий \bar{n}

$$\bar{A} = \bar{n} E \gamma = \text{Const}, \quad (6)$$

пригодна и для образцов из бетэловых композиций.

На основании экспериментальных исследований среднего числа отказов при различной интенсивности воздействий для образцов (резисторов) практически используемого диапазона сопротивлений установлено, что значение коэффициента $\gamma = 5-6$.

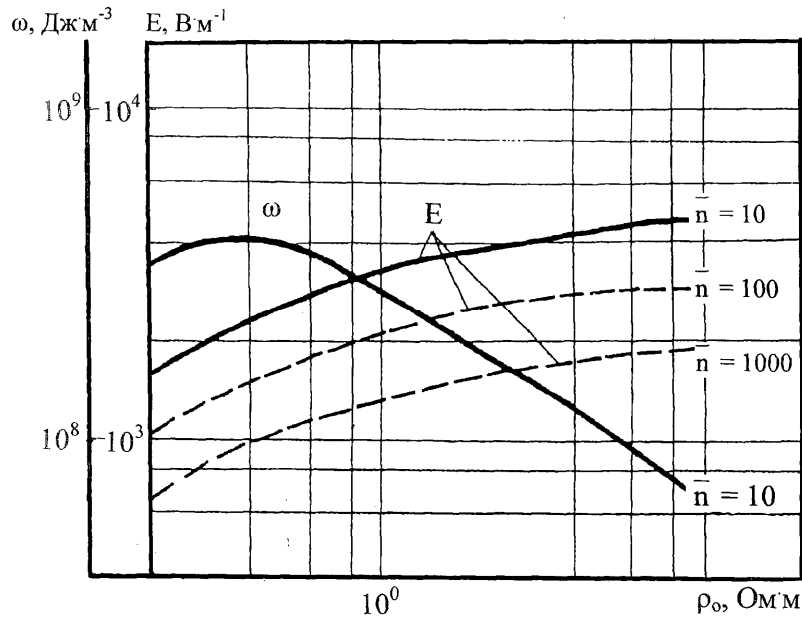


Рисунок 2 – Изменение пропускной способности ω и допустимой напряжённости электрического поля E бетэловых образцов в зависимости от удельного сопротивления композиции ρ_0 и количества включений под нагрузку n

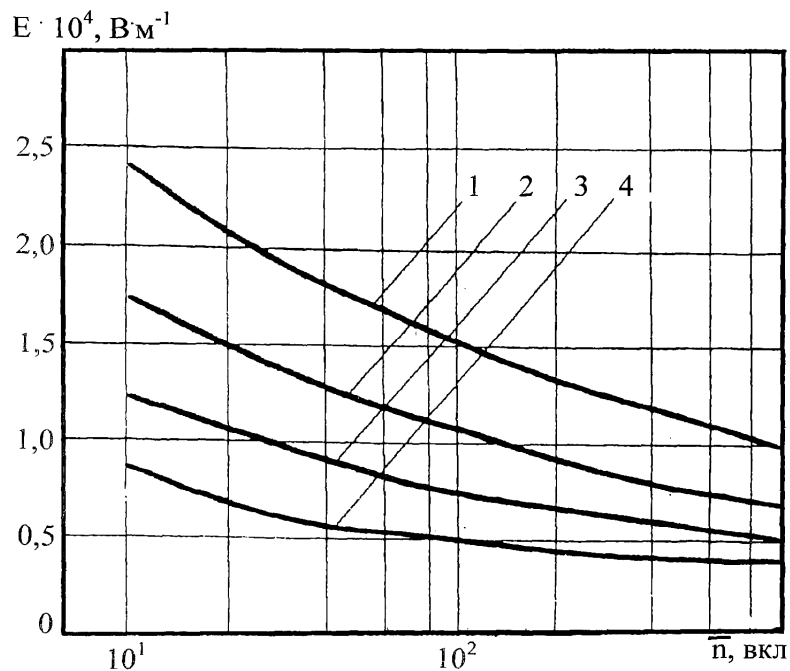


Рисунок 3 – Зависимость среднего числа импульсов воздействующего напряжения \bar{n} , выдержанных бетэловыми образцами с $\rho_0 = 0,4 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ до пробоя, при различной напряжённости электрического поля (длительность воздействия: 1-0,5 с; 2-1,0 с; 3-2,0 с; 4-4,0 с)

Соотношение (6) определяет ресурс при одинаковой длительности импульсов воздействующего напряжения

$$E\tau^m = \text{Const}, \quad (7)$$

где τ – длительность воздействия напряжения, приводящего к разрушению резистора;
 m – коэффициент, характеризующий материал.

Расчёты показали, что экспериментально полученная зависимость $E(\tau)$ в диапазоне $(0,75-2,40) \cdot 10^4 \text{ В}\cdot\text{м}^{-1}$ удовлетворительно аппроксимируется этим выражением при $m = 0,50-0,55$. Значение коэффициента m , полученное в разрушающих испытаниях при числе воздействий $n = 1$, может быть использовано при расчётах расходуемого ресурса пропускной

способности.

Исследования характеристик надёжности бетеловых композиций позволили разработать следующие практические рекомендации:

– в качестве комплектующих элементов тепловых систем в гидроэнергетическом строительстве целесообразно использовать обогреватели из бетеловых композиций с удельным электрическим сопротивлением (0,3–0,4) Ом·м, которые при прочих равных условиях обеспечивают повышенной ресурс работоспособности систем;

– для повышения надёжности изделий из бетеловых композиций должны быть приняты меры технологического и конструкционного характера, препятствующие поглощению бетелом влаги в процессе эксплуатации изделий;

– при производстве мощных бетеловых резисторов электроэнергетического назначения необходимо использовать наиболее энергоёмкие композиции с $\rho_0 = (0,3–0,4)$ Ом·м, что позволяет формировать резисторные установки различного назначения с меньшим числом резисторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Горелов, С.В. Резисторы в схемах электротеплоснабжения / С.В. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, Н.В. Цугленка. -2-е изд., перераб. и доп. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2008. -424 с.
- 2 Манчук, Г.Р. Разработка резистивных композиционных материалов в России / Г.Р. Манчук, С.В. Горелов, П.В. Горелов, В.П. Прохоров // Науч. пробл. трансп. Сиб и Дал. Вост. -2002. -№1. -С. 84-90.
- 3 Горелов, В.П. Композиционные резисторы для энергетического строительства // В.П. Горелов, Г.А. Пугачёв; под общ. ред. В.Е. Накорякова. -Новосибирск: Наука, 1989. -216 с.
- 4 Манчук, Г.Р. Системный подход к анализу мероприятий повышающих надёжность электроэнергетических объектов / Г.Р. Манчук, Г.А. Данилов [и др] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2013. -С. 357-362.
- 5 Манчук, Г.Р. Перспективы энергоснабжения сельскохозяйственных и промышленных объектов в труднодоступных районах с суровым климатом / Г.Р. Манчук, С.В. Горелов // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -С. 251-256.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: композит, нелинейный резистор, бетэл, надёжность, электростанция
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Горелов Сергей Валерьевич, докт. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Манчук Глеб Русланович, ведущий инженер ФГБОУ ВПО «НГАСУ»
Мочалин Константин Сергеевич, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Левчишин Олег Николаевич, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
Спирев Сергей Михайлович, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»
630008, г.Новосибирск, ул.Ленинградская, 113, ФГБОУ ВПО «НГАСУ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ЗА СЧЕТ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей
сообщения»

Е.А. Третьяков

IMPROVING THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF POWER SUPPLY SYSTEM OF RAILWAYS AT THE EXPENSE OF CONTROL MODES

Omsk state transport university
E.A. Tretyakov

Proposed and implemented in the model predictive control methods regimes in power supply system of railways, provides increased reliability, quality of electric energy and reducing losses.

Keywords: managing objects, parameter optimization mode, increase efficiency and reliability, smart grid

Предложены и реализованы на модели методы интеллектуального управления режимами в системе электроснабжения железных дорог, обеспечивающие повышение надежности, качества электрической энергии и снижение потерь.

Ряд авторов [1] применительно к управлению режимами системы тягового электроснабжения, развивают известный метод ситуационного управления, основанный на введении понятия ситуации, классификации ситуаций и их преобразований. Количество состояний (классов) текущего режима электрической сети зависит от количества конфигураций топологий сети, переменных параметров режима или управляемых объектов системы электроснабжения (с учетом значений критериев разбиения). При невозможности отнести состояние системы к какому-либо классу синтезируется новый класс состояний. Недостатками такого

подхода являются грубое усреднение параметров режима (и управляющих воздействий) внутри кластера из-за конечного числа сценариев управления и централизованный подход к управлению, исключающий регулирование параметров режима в реальном времени. Ситуационное управление вполне себя оправдывает, если существует управляющий орган (как правило, на базе контроллера), который выполняет мгновенные, дискретные действия, а если действия имеют продолжительность и могут накладываться друг на друга, то ситуационное исчисление становится довольно громоздким.

Поэтому будем рассматривать управление системой электроснабжения железных дорог с помощью альтернативной формальной системы, известной под названием «исчисление событий», которая основана на точках во времени, а не на ситуациях – мультиагентная система (рисунок 1) [2, 3].

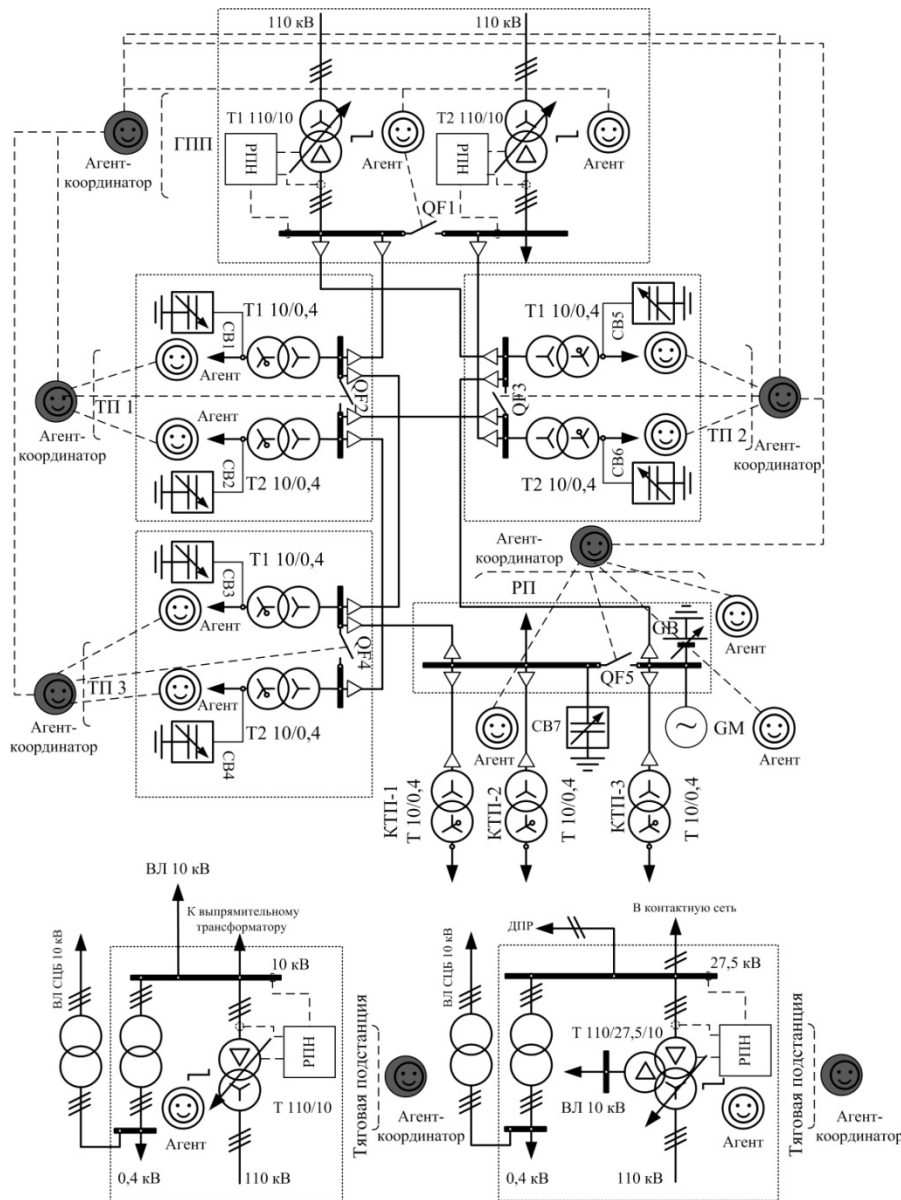


Рисунок 1 – Мультиагентное управление в системе электроснабжения железных дорог

Режим работы сети характеризуется рядом параметров, которые можно изменять (регулировать). К их числу относятся активные и реактивные нагрузки потребителей, нагрузки и ток линий электропередачи, напряжение в узлах эквивалентной схемы электрической сети, коэффициенты трансформации трансформаторов, положение коммутационных аппаратов.

Предлагаемая конфигурация управляющей системы для реализации мультиагентного управления представлена на рисунке 2.

- В качестве объектов управления параметрами режима выступают:
- РПН трансформаторов;

- устройства продольной емкостной компенсации;
- поперечные компенсирующие устройства (плавно и ступенчато регулируемые);
- линейные регуляторы и вольтодобавочные трансформаторы;
- устройства FACTS;
- источники распределенной генерации (GM);
- накопители энергии (GB);
- коммутационные аппараты.

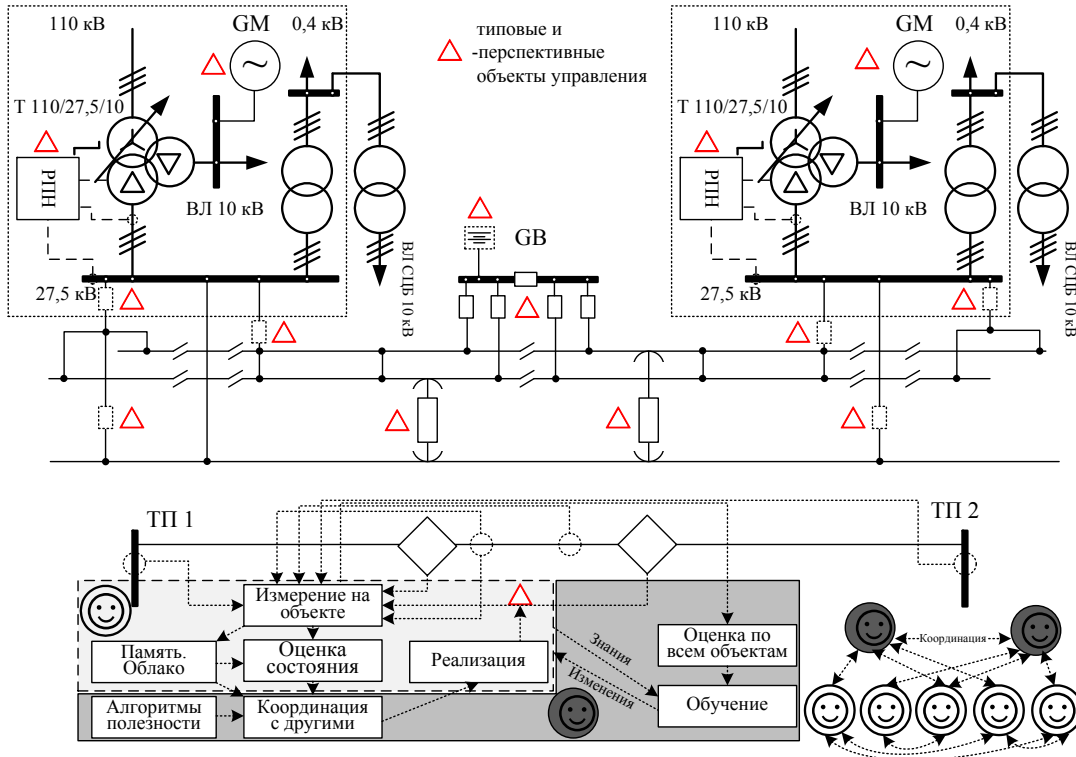


Рисунок 2 – Конфигурация управляющей системы

Распределенное оценивание состояния системы тягового электроснабжения («Оценка состояния» на рисунке 2) включает в себя идентификацию параметров сети (топология: путем анализа измерений на наличие соединения линий, параметры элементов схемы), параметры режима – напряжения узлов, перетоки мощностей и токов в ветвях, мощности генерации, накопления и потребления в узлах, ограничения на параметры режима. Предусмотрено динамическое оценивание методом максимального правдоподобия на основе системы распределенных векторных измерений (WAMS) с учетом данных предшествующих моментов времени и прогнозирования методом статистической экстраполяции.

Блок «Память. Облако данных» содержит онтологию конкретного агента (набор правил типа «если, то», алгоритмов функционирования объекта (например, алгоритм получения минимума потерь в сетях) как заложенных, так и полученных из опыта).

Для достижения глобальной цели существуют два основных принципа координации: сотрудничество и переговоры.

Алгоритмы полезности содержат критерии и порядок функционирования агентов для достижения оптимального управления по стабилизации напряжения и (или) оптимизации по минимуму потерь в сетях.

Например, для стабилизации напряжения в электрической сети целевая функция может иметь вид

$$F = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{m_i} (k_P \Delta P_j + k_Q \Delta Q_j) \right] + k_T \Delta T \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{m_i} (\alpha_{jk} \Delta P_j + \beta_{jk} \Delta Q_j) \right] + \gamma_T \Delta T = \Delta U_k; T^{\min} \leq T^0 + \Delta T \leq T^{\max}; \\ P_j^{\min} \leq P_j^0 + \Delta P_j \leq P_j^{\max}; Q_j^{\min} \leq Q_j^0 + \Delta Q_j \leq Q_j^{\max}; \forall j = 1, \dots, m_i. \end{cases} \quad (2)$$

где n – число участков, подключенных к той же шине с трансформатором;
 T^0, T^{\min}, T^{\max} – настройка регулятора (ответвлений) трансформатора с РПН и его ограничения (в о. е.);
 k_P, k_Q – весовые коэффициенты по активной и реактивной мощности;
 k_T – весовой коэффициент для управления действиями регулятора РПН, характеризующий чувствительность напряжения на шине k ТП при изменении шага регулятора РПН трансформатора на ВН/СН;
 P_j, Q_j – активная и реактивная мощность (генерация и (или) потребление);
 α_{jk}, β_{jk} – коэффициенты чувствительности по напряжению для активной и реактивной мощности.

Алгоритм для достижения оптимального управления по минимизации потерь в сетях подробнее рассмотрен в [2].

Алгоритмы мультиагентного управления напряжением при изменении нагрузки, ее местоположения, накопления и генерации в сеть исследованы на тестовой сети с помощью встроенных функций Matlab Simulink в виде отдельных подзадач на основе схемы замещения (таблица). Все потребители задавались расчетными суточными графиками нагрузок.

В виду высокой скорости оперативных расчетов параметров режима электровоз задавался неподвижным на момент расчета. Для упрощения расчет выполнялся дискретно в 24 временных точках.

Таблица – Результаты моделирования

Узел (точка)	СКО напряжения, В (относительно 25 кВ)		Ветвь	Мощность в ветвях, кВА (среднее значение)		Потери электроэнергии, кВт·ч	
	без управления	с управлением		без управления	с управлением	без управления	с управлением
1	458,04	408,36	1-3	2710,2	2383,2	1897,2	1429,8
2	455,19	379,29	3-4	2231,4	1961,1	892,5	627,6
3	488,46	403,71	4-5	1541,1	1348,8	616,5	431,7
4	630,48	473,52	5-8	724,5	651,3	289,8	208,5
5	905,7	552,87	2-6	2644,8	2344,5	1057,8	750,3
6	763,92	519,99	6-7	1873,5	1654,8	749,4	529,5
7	952,35	564,51	7-8	1134,9	1017,6	794,4	610,5
8	1158,4	575,1					
Итого						6297,6	4587,9

Результаты моделирования подтвердили эффективность координированного управления локальными объектами, особенно в замкнутых сетях (снижение уравнильных токов).

Использование принципов координированного управления объектами системы электропитания железных дорог позволит осуществить реализацию принципиально новых возможностей: секционирование сети по зонам качества электроэнергии; управление спросом (с накопителями и распределенной генерацией); автоматическая реконфигурация топологии сети (самовосстановление); распараллеленные оптимизационные вычисления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Оперативное управление в системах электроснабжения железных дорог: монография / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков, В.А. Ушаков, В.А. Алексеенко; под ред. А.В. Крюкова. -Иркутск: ИрГУПС, 2012. -129 с.
 2 Третьяков, Е.А. Управление качеством электрической энергии в распределительных сетях железных дорог: монография / Е. А. Третьяков. -Омск: ОмГУПС, 2013. -196 с.
 3 Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход: пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг. -Москва: Вильямс, 2006. - 1408 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: управление объектами, оптимизация параметров режима, повышение экономичности и надежности, интеллектуальная электрическая сеть
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Третьяков Евгений Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Новосибирская специализированная производственная база,
филиал ОАО «Специализированная электросетевая сервисная
компания Единой национальной электрической сети»
ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

А.Г. Овсянников, Р.С. Арбузов, А.Г. Тарасов, Е.Н. Фролкин

THE CONDITION MONITORING OF OVERHEAD TRANSMISSION LINE

Novosibirsk specialized production base, branch Specialized electric grid service company
of Unified national power grid
Electroservice ENES

A.G. Ovsyannikov, R.S. Arbuzov, A.G. Tarasov, E.N. Frolokin

Some systems for automatic monitoring of overhead transmission line are discussed in this paper. In order to expand the functional properties of this system some additional decisions are offered.

Keywords: overhead transmission line, automatic monitoring, load, icing, pollution of suspended insulation

Представлен обзор известных систем непрерывного автоматического мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи. Обсуждаются возможные технические решения по расширению функций систем мониторинга.

Под мониторингом мы понимаем автоматический контроль характеристик воздушных линий электропередачи (ВЛ) и передачу информацию на верхний уровень. До недавнего времени создавались только системы мониторинга наиболее дорогостоящего подстанционного оборудования, прежде всего силовых трансформаторов. Техническое обслуживание ВЛ проводилось и проводится, в основном, с помощью обходов, осмотров и некоторых инструментальных проверок [1].

В ходе обследований ВЛ контролируются: наличие угрожающих перекрытием древесно-кустарниковой растительности; наличие незаконных построек в полосе отчуждения; состояние контактных соединений и повреждения верхнего повива проводов; состояние гасителей вибрации и экранов, грозозащитных тросов и сигнальных шаров на них; наличие птичьих гнезд; загрязнение и следы трекинго-эрозионного повреждений изоляции; проявления вандализма (расстрел изоляции, демонтаж элементов опор и др.); дефекты опор и старение фундаментов и др. Значительное повышение производительности труда при обследованиях достигается в аэроинспекциях ВЛ, в том числе, с помощью беспилотных летательных аппаратов [2]. При этом, однако, часть указанных выше характеристик, не поддаются дистанционному контролю. Мешает также и недостаточная частота повторения контроля: осмотры и обходы ВЛ производятся два раза в год, аэроинспекции пока единичны. Отметим также субъективность результатов осмотра, а в некоторых случаях и недобросовестное отношение обходчиков к выполняемой работе. Некоторый прогресс в документировании обходов и повышении объективности их результатов был достигнут, например, в Южной Корее, где на каждой опоре ВЛ приклеены чипы, в которых записана информация о номере опоры. При касании чипа датчиком считывающего устройства через встроенный в него модем устанавливается связь с предприятием – собственником линии, а на дисплее устройства отображается не только номер опоры, но и полная программа необходимых контролируемых действий на данной опоре, а также результаты и дата предыдущего осмотра. Заполненный линейщиком «листок обхода» мгновенно транслируется на предприятие. Таким образом имеется возможность «on-line» проверки за полнотой осмотров персоналом состояния ВЛ в месте расположения данной опоры.

С развитием информационных технологий и средств измерений стали разрабатываться как отдельные узлы, так и достаточно развитые системы автоматического мониторинга ВЛ. Примером могут служить системы Power Donut (PD) компании USi [3] трёх поколений (рисунки 1а и 1б). В сочетании с автоматической метеостанцией, расположенной поблизости от одного из датчиков (рисунок 1в), возможности системы резко расширились.

Все системы проводят измерения тока в диапазоне 0-3000 А, напряжения в диапазоне 1-500 кВ, температуры провода от -50 до +150 °С; и угла схода провода $\pm 11^\circ$ по горизонтали от опоры в пролёт. Датчики могут функционировать в температурном диапазоне от -40 до +50 °С. Герметизированная конструкция исключает влияние влажности и атмосферных осад-

ков на измерительные органы и обеспечивает степень экранирования, достаточную для работы на ВЛ 500 кВ. Результаты измерений сохраняются в энергонезависимой памяти месяцами. Основное различие в сериях состоит в системах питания и связи. Датчики первой и второй серий получали питание непосредственно от тока по проводу ВЛ, в датчиках третьей серии источники питания дополнены солнечными батареями и аккумуляторами. Серия PD2 имеет системы связи GSM/GPRS/EDGE или «ZigBee» в стандарте 2,4 ГГц. Последняя применяется при удалённости ретрансляторов мобильной связи. Кроме того, все «donuts» оснащены вторым портом Bluetooth.

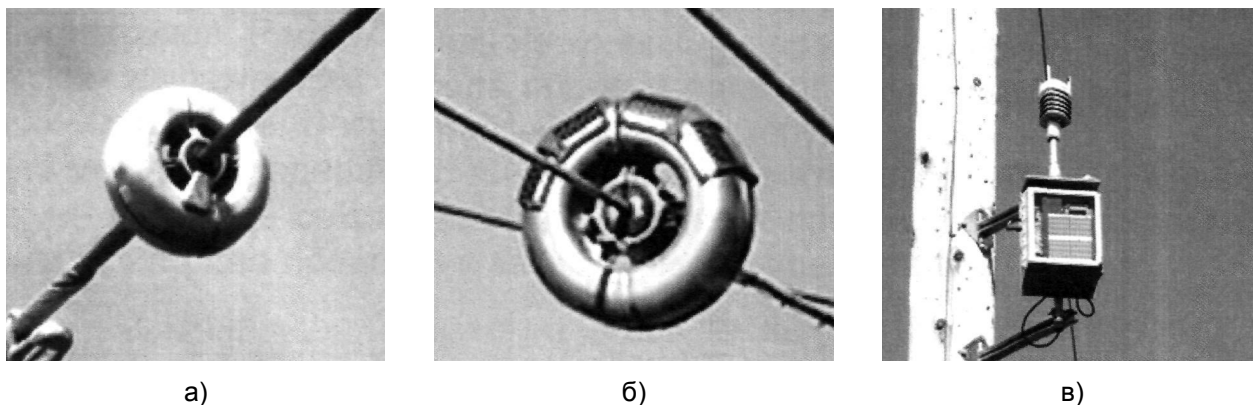


Рисунок 1 – Датчики PD2 (а), PD3 (б) и метеостанция (в)

Метеостанция измеряет и передаёт: температуру воздуха (от -40 до +60 °С); скорость ветра (от 0,1 до 30 м/с); направление ветра ($\pm 360^\circ$); интенсивность солнечной радиации (от 0 до 1200 Вт/м²) интенсивность дождя (0-30) дюймов/ч.

Метеостанция передаёт данные в PD2, используя Bluetooth и беспроводную связь. Датчик PD собирает метеоданные и передаёт на сервер по каналу GPRS связи. Программное обеспечение позволяет клиенту сервера связаться с системой с помощью стандартного протокола.

Одной из главных областей применения является определение динамического рейтинга ВЛ: нагрузка регулируется в автоматическом режиме на основе расчёта потерь на нагрев проводов в данной метеорологической обстановке. В установившемся режиме соблюдается баланс между нагревом провода от протекания тока (джоулевы потери) и солнечной радиации q_s и его охлаждением, связанным с потерями энергии на излучение q_R и конвекцию q_C

$$I^2 R + q_s = q_R + q_C \quad (1)$$

Мощность нагрева солнечным излучением q_s , определяется по эмпирическим выражениям, в которых используются результаты измерений метеофакторов. Расчёт потерь на конвекцию проводится также по эмпирическим выражениям. Стрела провеса провода определяется из оптических измерений. В итоге рассчитывается допустимый ток нагрузки, которую можно передавать по линии в данной метеорологической обстановке, не опасаясь сокращения изоляционных промежутков между провисшим от нагрева проводом и заземлёнными предметами

$$I = \sqrt{\frac{q_C + q_R - q_s}{R(T_C)}}, \quad (2)$$

где $R(T_C)$ – температура провода, лимитируемая допустимой величиной стрелы провеса.

Рассмотрим некоторые варианты возможных функциональных добавок в систему мониторинга.

1 Мониторинг образования гололёдных отложений на грозозащитном тросе. Для выполнения этой функции разработаны несколько систем контроля гололёда, в том числе система «DiLin» [4]. Принцип её работы основан на том, что по проводу с гололёдными отложениями волна электромагнитного поля бежит медленнее, чем по чистому проводу. Следует отметить, что система «DiLin» позволяет в режиме автоматического мониторинга контролировать ток, температуру и механические 3D колебания провода, температуру и влажность воздуха, а также обеспечивать информацию для локализации мест возникновения дефектов в линии.

Таким образом, «DiLin» можно классифицировать как систему мониторинга ВЛ, успешно конкурирующую с «Power Donut».

2 Дистанционный контроль состояния линейных ограничителей перенапряжений или линейных разрядников. Для этой цели также имеются технические решения, которые, предстоит доработать для целей автоматического мониторинга.

3 Обнаружение коронирующих дефектов и мест перекрытия изоляции ВЛ основано на регистрации импульсных токов по концам ВЛ с синхронизацией измерительных устройств с помощью системы глобального позиционирования GPS. Место расположения дефекта или перекрытия изоляции вычисляется по временному интервалу между приходом волн. Для целей обнаружения дефектов, предпочтительно использовать систему OVM [4]. С учётом способности автоматического закругления чувствительности система OVM обеспечивает также возможность определения мест перекрытия изоляции. Однако в выполнении этой функции преимущество имеет система (СМГР), разработанная в филиале НТЦ ЕЭС-СибНИИЭ [5]. Система способна восстанавливать форму исходного воздействия по результатам измерений сигналов по концам ВЛ, что очень важно для выяснения причины перекрытия.

4 Остановимся далее подробно, на одной из очень значимых задач мониторинга – контроле степени загрязнения линейной изоляции. Сильные загрязнения могут привести к перекрытию изолирующих подвесок проводов при увлажнении слоя загрязнения туманами или морозящими дождями.

В принципе контроля загрязнения лежит известная закономерность: чем больше степень загрязнения, тем больше токи утечки и их отдельные броски. До недавнего времени задача регистрации этих характеристик казалась едва ли выполнимой в рамках непрерывного автоматического мониторинга. Даже в лабораторных условиях исследования корреляционной связи между характеристиками тока утечки и напряжением перекрытия гирлянд изоляторов нельзя считать завершёнными.

Тем не менее, известны предложения по использованию амплитуды бросков тока утечки для контроля загрязнения изоляции [6]. На рынке появились устройства «MetrySense 4000», в которых броски тока утечки регистрируются с помощью трансформатора тока, охватывающего своим сердечником грозозащитный трос.

Действительно, при некоторой степени загрязнения и увлажнения изоляции в каждом полупериоде фазного напряжения, загоранию непрерывной дужки предшествует серия отдельных достаточно коротких поверхностных разрядов, которые сопровождаются бросками тока утечки. Они отличаются большим разнообразием формы, поэтому их можно более или менее надёжно регистрировать только с помощью шунтов в виде активных сопротивлений, включённых в цепь заземления гирлянды линейных изоляторов. Если же для целей регистрации использовать индуктивные датчики, охватывающие даже не провод, а грозозащитный трос, то результаты измерения будут иметь большую погрешность. Во-первых, амплитуда сигналов на выходе датчиков связана не с броском тока утечки, а с его производной. Во-вторых, подпитка тока утечки происходит от провода, с которым грозозащитный трос имеет магнитную связь, которая с учётом характера цепей также оказывается тоже зависимой от частоты. Поэтому связывать уровни выходных сигналов трансформаторов тока, охватывающих грозозащитный трос, с бросками тока утечки по изолирующей подвеске провода необоснованно.

Более того, проведённые авторами [7] лабораторные исследования показали, что при различных интенсивностях увлажнения максимальные амплитуды бросков тока утечки изменяются в широких пределах. При этом невозможно определить, какое именно сочетание внешних факторов испытывает в данный момент поверхность изоляции: малая величина удельной проводимости слоя загрязнения при большой интенсивности увлажнения или же большая удельная проводимость слоя загрязнения при умеренной интенсивности увлажнения. И, если в первом случае неверная оценка степени загрязнения ведёт к ошибке первого рода («ложная тревога»), то во втором случае возможны ошибки второго рода («пропуск дефекта»). В итоге исследований была установлена достаточно тесная корреляционная связь напряжения перекрытия с максимальной удельной поверхностной проводимостью слоя загрязнения. Исходя из этого, задача мониторинга степени загрязнения изоляции должна сосредоточиться на определении именно этого параметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 РД 34.20.504-94. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ, - Москва: СПО, ОРГРЭС. -1996.

2 Дикой, В.П. Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи с использованием беспилотного летательного

аппарата / В.П. Дикой, А.А. Левандовский, Р.С. Арбузов и др. // Энергия Единой Сети. -2014. -№2. -С. 16-25.

3 Режим доступа www.usi-power.com

4 Русов, В.А. Организация непрерывного мониторинга и оперативной диагностики состояния силовых воздушных линий, контроль обледенения проводов / В.А. Русов // Воздушные линии. -2012. -№1. -С. 71-76.

5 Бутымов, А.С. Система мониторинга грозовых разрядов и определения мест повреждений ВЛ / А.С. Бутымов, А.С. Гайворонский, А.В. Пуртов, А.Л. Соловьев // Воздушные линии, -2012. -№3. -С. 57-64.

6 Levinzon, A. On-Line Wireless PD Monitoring System for Contamination Detection on High Voltage Overhead Transmission Lines Insulators / A. Levinzon et al // Proc. of 44th CIGRE session, Paris, 2012. -Report B2-205.

7 Комолов, А.А. О возможности применения информации о токе утечки через поверхность загрязнённой и увлажнённой изоляции для целей диагностики её электрической прочности / А.А. Комолов, В.М. Руцкий // Вестник транспорта Поволжья. - 2011. -№2. -С. 60-65.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *воздушные линии электропередачи, мониторинг, нагрузка, гололёд, загрязнение изоляции*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Овсянников Александр Георгиевич, докт. техн. наук, заместитель директора Новосибирская СПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»*

Арбузов Роман Сергеевич, канд. техн. наук, директор Новосибирская СПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

Тарасов Александр Георгиевич, канд. техн. наук, начальник службы Новосибирская СПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

Фролкин Евгений Николаевич, канд. техн. наук, генеральный директор ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630126, г.Новосибирск, мкр.Зеленый Бор, 7, Новосибирская СПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»*

115035, г.Москва, ул.Садовническая, 27, стр.8, ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛАНИРУЕМЫХ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА КОЛПАШЕВСКОМ ПЕРЕКАТЕ РЕКИ ОБИ

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

М.А. Бучельников

ECOLOGICAL ESTIMATION OF THE PLANNED DREDGING WORKS ON KOLPASHEVSKY SHOAL OF OB RIVER
Siberian state university of water transport
M.A. Buchelnikov

In the article is proposed the forecast estimation of the planned dredging works in the region of Kolpashevski shoal on Ob river. The possible short- and lasting action of the diverse variants of cuts on the formation of biocenoses in this section of the river is examined.

Keywords: dredging, refuse of soil, biocenoses, productivity, river Ob

Предложена прогнозная оценка планируемых дноуглубительных работ в районе Колпашевских перекатов на реке Оби. Рассмотрено возможное кратко- и долговременное воздействие различных вариантов прорезей на формирование биоценозов на данном участке реки.

Для успешного функционирования реки Оби в качестве полноценной, экономически эффективной транспортной магистрали особо актуальным становится решение задачи всестороннего обоснования возрастающих объемов дноуглубления. Анализ данных за ряд лет показал, что эти объемы в 1990-2010 гг. находились на совершенно недостаточном уровне – в среднем всего около 3 млн. м³ в год, вместе с тем, начиная с навигации 2015 г., они должны возрасти более чем в 3 раза.

Безусловно, интенсификация путевых работ приведет к усилению воздействия на водные экосистемы. Оценку техногенной нагрузки от путевых работ на реку Обь в целом еще предстоит произвести, однако, уже сейчас можно попытаться спрогнозировать результаты влияния дноуглубления и русловыправления на отдельных перекатных участках.

В качестве примера был выбран Колпашевский перекал (1250,9-1256,2 км) находящийся на Нижней Колпашевской излучине. Развитию переката способствует отвлечение около 30% расхода воды в Колпашевскую протоку. Для него характерно расширение русла в 2 раза по сравнению со створом гидропоста Колпашево в верхней плесовой ложине. Оба обстоятельства обуславливают снижение глубин до гарантированных, а иногда и их срыв [1, 4]. За последние годы Колпашевский перекал неоднократно разрабатывался в значительных объемах: в 2007 г. – 362,8 тыс. м³, в 2011 г. – 43 тыс. м³, в 2012 г. – 205,6 тыс. м³ и в 2013 г. – 212,3 тыс. м³.

Специалистами МГУ и НГАВТ предложено три варианта дноуглубления.

I вариант – капитальный, предусматривает капитальную подрезку кос в устье верхнего побочня и обеспечивает подход фарватера к левому берегу выше устья пойменной протоки перед яром Нижним Колпашевским. Отвалы грунта укладываются на нижний побочень, повышая его отметки и способствуя сосредоточению потока на прорези.

II и III варианты – эксплуатационные. Они предусматривают незначительное смещение прорези вправо к нижнему побочню вслед за смещающимся устьем верхнего побочня. Прорезь при этом частично подрезает приверх нижнего побочня.

Результаты расчета ущерба рыбным запасам по стандартной методике [2] (вычисляемой через потери планктона и бентоса от самого дноуглубления, отвалов грунта и взмучивания воды) приведены в таблице. Очевидно, что при ее использовании имеется прямая зависимость между объемами дноуглубления и ущербом. Вместе с тем, данная методика не дает ответа на вопрос о долговременных изменениях, которые могут наступить после проведения масштабных путевых работ.

На наш взгляд, продуктивность биотопов может быть принята за показатель «благополучия» водных биоценозов, однако, не стоит забывать, что в естественном, ненарушенном виде на каждом речном участке имеются биотопы с низкой, средней и высокой продуктивностью и резкое изменение их соотношения нежелательно. Иными словами, каждый участок реки представляет собой «мозаику» связанных между собой макро-, мезо- и даже микро-биотопов совокупность которых и составляет всю экосистему реки в целом.

Продуктивность P каждого биотопа может быть выражена как функция от множества

переменных: скорости течения на данном участке v , температуры воды t , характера грунта g , глубины z и ряда других и записана в виде

$$P = f(v, t, g, z, h).$$

Таблица – Ущерб зоопланктону, зообентосу и рыбным запасам при планируемых дноуглубительных работах

Вариант прорезей	I капитальный	II эксплуатационный	III эксплуатационный
Объем разрабатываемого грунта, м ³	312876	119148	212314
Площадь воздействия, м ²	439832	171957	299206
Объем взмученной воды, м ³	977464	382150	664942
Уменьшение первичной продуктивности (уменьшение планктона/бентоса), кг	558/1319	218/515	380/897
Уменьшение вторичной продуктивности (ущерб рыбным запасам), кг	244	95	166

В этом случае задача биоэкологической оценки сводится к корректному (возможно, достаточно «дробному») разбитию района дноуглубительных работ на участки и определения значений функции в них до и после проведения работ.

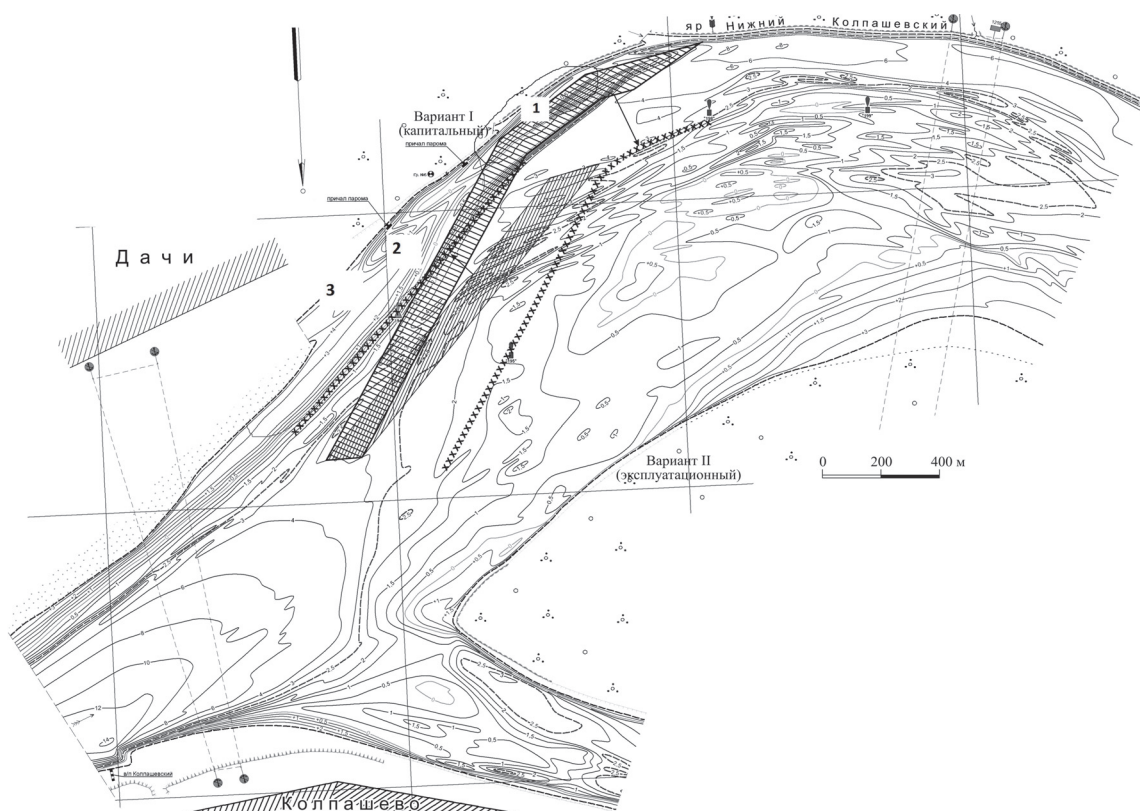


Рисунок 1 – Варианты дноуглубительных прорезей I и II (пояснения в тексте)

В свою очередь, само техногенное воздействие тоже можно разделить на краткосрочное (существующее в период проведения работ или даже непосредственно в момент работы земснаряда или землесоса, в момент отвала грунта), среднесрочное (в течение сезона) и долгосрочное (сказывающееся в течение нескольких лет); причем, последнее может быть как негативным, так и позитивным, то есть таким, после которого возникают новые, продуктивные биотопы, возникают условия для увеличения поголовья рыбы.

Долгосрочное воздействие будет вызвано изменением гидрологических параметров разрабатываемого переката (появлением участков с более быстрым или более медленным течением, с новой глубиной, перекрытием проток и т.д.) [3]. Отсюда следует, что переменные, определяющие продуктивность, будут изменяться как от времени, прошедшего с момента окончания работ, так и от сезона, годового хода температур, колебаний уровней воды.

Попытаемся спрогнозировать долгосрочные изменения при всех трех вариантах дноуглубления.

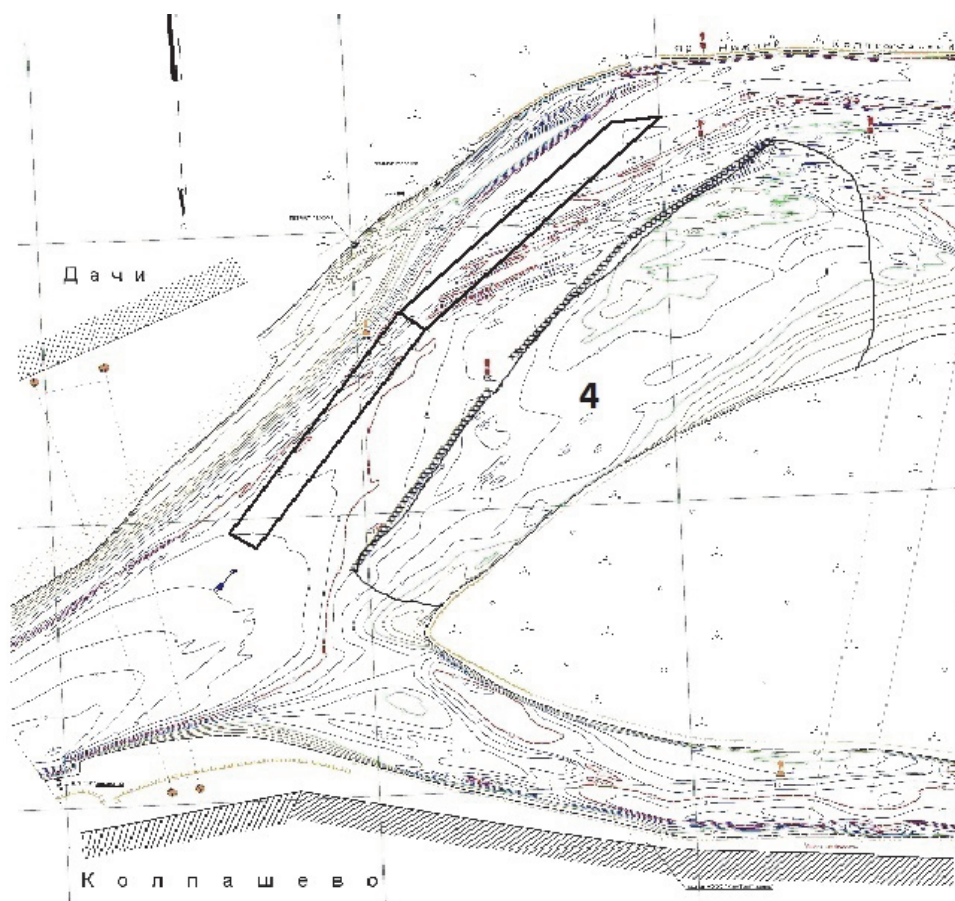


Рисунок 2 – Вариант дноуглубительной прорези III (пояснения в тексте)

Вариант I. Капитальная прорезь выходит за пределы судового хода и затрагивает небольшой участок (около 50 тыс. м², обозначен цифрой 1 на рисунке 1) мелководья у левого берега. Отвал выполняется на побочень переката ближе к середине реки и несколько повышает его отметки не изменяя общий гидрологический режим данного участка.

Вариант II. Предусматривает прорезь в пределах существующего судового хода и отвал, выполненный к левому берегу. Прорезь проходит по стрежевым, малопродуктивным, пескам, однако отвал планируется выполнить практически по нулевой изобате проектного уровня, то есть на пойменные, высокопродуктивные участки (территория обозначенная цифрой 2 на рисунке 1), общая площадь, на которую будет оказывать влияние отвал, составит примерно 900 тыс. м², их восстановление займет несколько лет. Кроме того, при уровнях, близких к проектным, отвалом может быть перекрыта небольшая протока (цифра 3 на рисунке 1).

Принимая значения плотности зообентосных организмов для пойменных участков 1,6 г/м², а для проток около 2 г/м², можно оценить снижение продуктивности данного участка реки примерно в 2000 кг зообентоса.

Вариант III во многом аналогичен Варианту II, он также предусматривает прорезь в пределах существующего судового хода, как и в Варианте I, отвал планируется выполнить ближе к правому берегу, почти на середине реки; и сама прорезь и отвал в таком случае пройдут по стрежевым, малопродуктивным, пескам. Общая гидрологическая картина на перекате не изменяется, пойма в ходе работ не затрагивается. Как и в Варианте I, отвал несколько повышает отметки на одном из побочней переката (территория, обозначенная цифрой «4» на рисунке 2), которые не приведут к изменению биотопа. Представляется очевидным, что долговременных изменений в данном случае не предвидится.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Обоснование объемов дноуглубления на внутренних водных путях Сибири и Дальнего Востока (река Обь): отчет о НИР / Новосиб. гос. акад. вод. трансп., МГУ. -Новосибирск, 2014.
- 2 Методика исчисления размера вреда, причинённого водным биологическим ресурсам: утв. приказом Росрыболовства № 1166 от 25 нояб. 2011 г., зарегистрирована в Минюсте России 5 марта 2012 г. № 23404.
- 3 Исследование влияния дноуглубления и отвалов грунта при разработке судоходных прорезей на экологию гидробионтов: отчет о НИР / Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1976.

4 Ботвинков, В.М. Гидроэкология на внутренних водных путях / В.М. Ботвинков, В.В. Дегтярев, В.А. Седых. -Новосибирск: Сиб. соглашение. -2002. -356 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дноуглубление, отвалы грунта, биоценозы, продуктивность, река Обь
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бучельников Михаил Александрович, канд. биол. наук, доцент ФГБОУ ВО «СГУВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИОКОМПЛЕКСОВ МОЛИБДЕНА С ЦЕЛЬЮ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

В.П. Зайцев, Н.В. Мокровицкая

INVESTIGATION OF THE THIOCOMPLEXES OF MOLYBDENUM FOR ECOLOGIZATION THE PROCESS OF DIVISION OF TUNGSTEN AND MOLYBDENUM

Siberian state university of water transport
 V.P. Zaytsev, N.V. Mokrovitskaya

The explored kinetics of the hydrolysis of molybdenum thiocomplexes in water solution of the complex composition. It is installed the value of the constant hydrolysis to velocities increases in row anions.

Keywords: ecology, extraction, thiocomplex of molybdenum

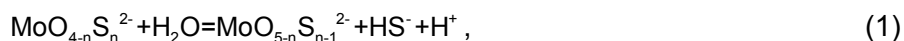
Исследована кинетика гидролиза тиокомплексов молибдена в водных растворах сложного состава. Установлено, что величина константы скорости гидролиза увеличивается в ряду анионов.

Отделение вольфрама от молибдена представляет серьезную проблему в актоклавно-содовой технологии получения вольфрамового ангидрида. Использование широко применяемого в промышленной практике способа осаждения молибдена в виде MoS_3 экономически не выгодно, поскольку он требует нейтрализации раствора и подкисления его до $pH=2-3$, что сопряжено с невосполнимыми потерями избыточной соды, кислоты и образованием значительных солевых стоков. Помимо указанных недостатков, метод осаждения MoS_3 , позволяющий отделить основную массу молибдена, имеет ряд других недостатков, таких как высокая токсичность, коррозионная активность сернистых соединений, значительные потери вольфрама и неполнота разделения вольфрама и молибдена.

Определенный интерес с точки зрения разделения вольфрама и молибдена представляют работы [1-4], в которых рассматривается метод экстракционного разделения указанных металлов из слабощелочных растворов в присутствии сульфид-иона. Авторы этих работ большей частью исследовали экстракцию вольфрама и молибдена в зависимости от pH водного раствора и концентрации сульфидирующего реагента (Na_2S , NH_4HS). В основе этих методов лежат экстракционное извлечение тиокомплексов молибдена из раствора вольфрама. Высокие значения констант образования тиокомплексов молибдена по сравнению с тиокомплексами вольфрама обуславливают преимущественную экстракцию молибдена жидкими анионообменниками [5-6]. Однако процесс образования тиокомплексов молибдена протекает по времени. Это указывает на необходимость исследований, связанных с кинетикой образования тиокомплексов молибдена и их кинетической устойчивостью в водных и органической фазах экстракционной системы.

Существенное влияние на межфазное распределение тиокомплексов молибдена в экстракционных системах оказывает их гидролиз. Поэтому для оптимизации экстракционного процесса разделения вольфрама и молибдена необходимо исследование влияния различных факторов на скорость реакции гидролиза тиокомплексов молибдена. Необходимость исследования реакции гидролиза тиосолей молибдена обусловлена возможностью косвенно получать информацию о кинетике реакции образования тиокомплексов молибдена, которая является обратным процессом реакции гидролиза.

В водных растворах гидролиз тиокомплексов молибдена описывается общим уравнением



где n – изменяется в пределах от 1 до 4.

Конечным продуктом реакции гидролиза является оксомолибмат-ион MoO_4^{2-} . В связи с тем, что каждый индивидуальный тиокомплекс молибдена имеет свой характерный спектр

поглощения в видимой и ультрафиолетовой областях (рисунок 1), представляется возможным спектрофотометрически исследовать кинетику гидролиза тетратио- и оксо тиомолибдатных комплексов.

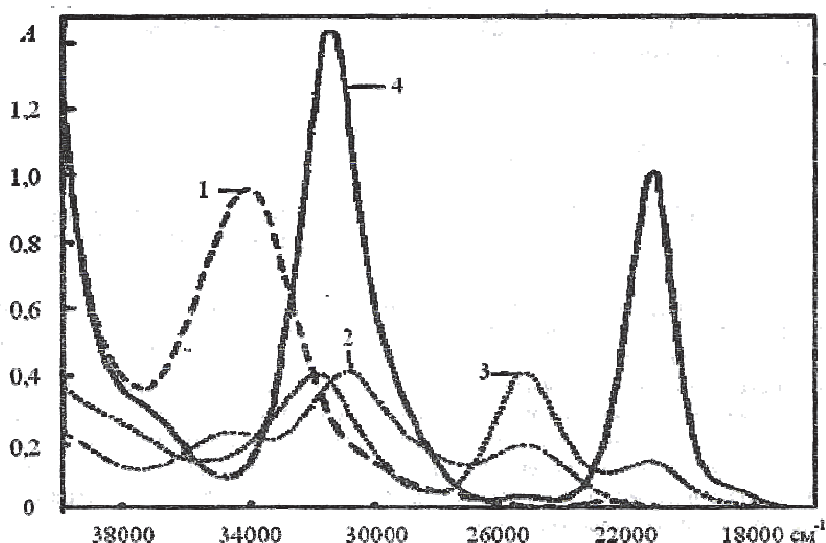


Рисунок 1 – Электронные спектры поглощения тиокомплексов в водных растворах ($[MoO_4^{n-}S_n^{2-}] \sim 1 \cdot 10^{-4} M$): 1- MoO_3S^2 ; 2- $MoO_2S_2^{2-}$; 3- $MoOS_3^{2-}$; 4- MoS_4^{2-}

Согласно реакции (1), в условиях значительного избытка воды по отношению к концентрации тиокомплекса молибдена (10^{-5} - 10^{-3} моль/л), скорость реакции можно записать в виде уравнения первого порядка относительно тиокомплекса молибдена

$$dC_t/d\tau = k'C_t, \quad (2)$$

где C_t – текущая концентрация тиокомплекса молибдена,
 k' – эффективная константа скорости.

При этом принимали во внимание, что продукты реакции (1) на начальной стадии процесса не оказывают заметного влияния на скорость реакции гидролиза. Поскольку в широком интервале концентраций тиокомплексов молибдена (10^{-6} - 10^{-3} моль/л) оптическая плотность раствора, имеющего свой характерный спектр в видимой и ультрафиолетовых областях для каждого тиокомплекса молибдена, подчиняется закону Ламберта-Бера, то уравнение кинетической кривой (2) в интегральной форме имеет вид

$$\ln \frac{A_0 - A_\infty}{A_\tau - A_\infty} = k'\tau, \quad (3)$$

где A_0, A_τ, A_∞ – оптические плотности растворов тиокомплексов молибдена при $\tau = 0, \tau \rightarrow \infty$.

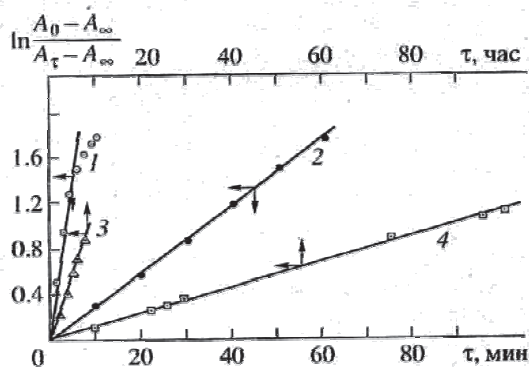
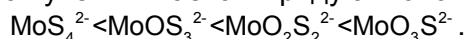


Рисунок 2 – Кинетические кривые гидролиза тиосолей молибдена в координатах зависимости $\ln[(A_0 - A_\infty)/(A_\tau - A_\infty)]$ времени τ , полученные при постоянном значении pH водного раствора (0,25 моль/л $[NH_4HCO_3]/NH_3$).

Представленные на рисунке 2 зависимости для различных тиокомплексов молибдена имеют прямолинейный характер, что подтверждает первый порядок реакции относительно

тиокомплекса молибдена, а тангенс угла наклона соответствует эффективной константе скорости k' , величина которой увеличивается в ряду анионов



При протекании реакции более чем на 60-70% становится заметным уменьшение скорости реакции гидролиза, что обусловлено накоплением в растворе иона HS^- и обратимостью реакции гидролиза.

Исследование реакций гидролиза показали, что константа скорости увеличивается с увеличением кислотности раствора. Поскольку константа скорости зависит от концентрации H^+ -ионов, представляло интерес изучить влияние на скорость реакции гидролиза веществ, способных к протонной диссоциации, в частности, солей NH_4^+ , HCO_3^- , HPO_4^{2-} и т.д. (так называемые кислоты Бренстеда), которые часто присутствуют в производственных растворах вольфрама и молибдена. С этой целью исследовали скорость реакции гидролиза в зависимости от концентрации солей NH_4Cl , NH_4HCO_3 , Na_2HPO_4 . Значения pH водных растворов были постоянными, поскольку исследования реакции гидролиза проводили при малых исходных концентрациях тиокомплексов молибдена $\sim 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л на фоне относительно высоких концентраций солей (0,01-0,5 моль/л), имеющих низкие значения константы протонной диссоциации (NH_4^+ , $\text{p}K_a=9,24$; HCO_3^- , $\text{p}K_a=10,25$; HPO_4^{2-} , $\text{p}K_a=12,67$ [7]).

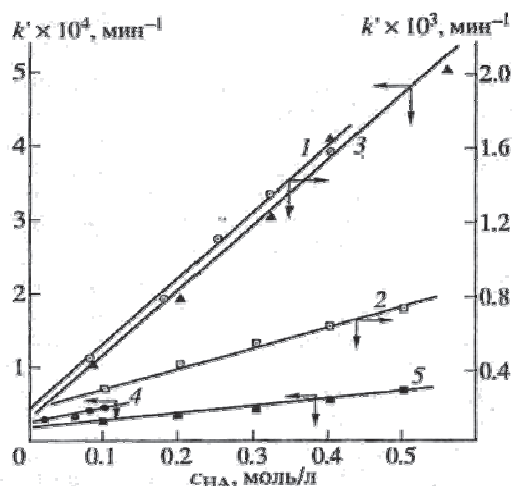


Рисунок 3 – зависимость эффективной константы скорости реакции гидролиза солей Cs_2MoOS_3 (1,2), $(\text{NH}_4)_2\text{MoS}_4$ (3-5) от концентрации NH_4HCO_3 (1, 3), $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{NH}_3$ (2, 5), Na_2HPO_4 (4) при постоянных значениях pH водного раствора и исходной концентрации тиокомплекса молибдена $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л. pH: 1-8,48; 2, 5-7,92; 3-8,58; 4-8,9.

В результате проведенных кинетических исследований установлено, что повышение концентрации солей приводит к увеличению скорости реакции гидролиза. Представленные на рисунке 3 зависимости эффективной константы скорости гидролиза от концентрации различных солей описывается линейным уравнением

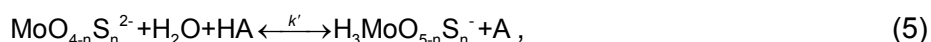
$$k' = k_0 + k_A C_{HA}, \quad (4)$$

где k_0 – константа скорости некатализируемой реакции гидролиза;

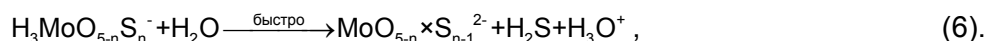
k_A – константа скорости реакции гидролиза, катализируемой солью кислотной природы;

C_{HA} – концентрация соли, моль/л.

Таким образом, реакция гидролиза, катализируемая солью, протекает по общему кислотному механизму, который включает образование промежуточных протонированных форм с увеличением координационного числа центрального атома молибдена и инверсии лигандов



Быстро



Такому механизму не противоречит отсутствие эффекта в опытах с солью NaCl . Увеличение ионной силы раствора путем добавления NaCl к раствору тиокомплекса молибдена

практически не влияет на величину константы скорости.

Заключение. Поскольку константа равновесия любой обратимой реакции определяется отношением констант скоростей прямой и обратной реакции, то, исследуя кинетические особенности реакции гидролиза, мы можем опосредованно судить о кинетике образования тиокомплексов молибдена.

Результаты проведенных исследований будут использованы при разработке экстракционного метода разделения вольфрама и молибдена из щелочных растворов, который удовлетворял бы требованиям экологии и позволил бы избежать недостатков, присущих методу осаждения MoS_3 , основным из которых является выброс в атмосферу высокотоксичного и коррозионноактивного сероводорода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Pat. USA. 4288413, МКИ С 01G 41/ 00 / М.В. MacJnnis, Т.К. Kim. -Опубл.12.07.82.
- 2 Pat. USA 4278642, МКИ С 01G 41/ 00 / М.В. MacJnnis, Т.К. Kim. -Опубл. 14.07.81.
- 3 Кулмухамедов, Г.К. [и др.] // Журн. неорганической химии. -1990. -Т. 35, № 9. -С. 24-29.
- 4 Новые способы извлечения металлов / под ред. М.Дж. Колл. -Москва: Металлургия, 1987. -256 с.
- 5 Зайцев В.П., Мокровицкая Н.В. // Сиб. науч. вестн. -2006. -№ 9. -С. 222-224.
- 6 Кулмухамедов, Г.К. [и др.] // Журн. неорганической химии. -1990. -Т. 35, № 9. -С. 29-31.
- 7 Гордон, А. Спутник химика / А. Гордон, Р. Норд. -Москва: Мир, 1976. -541 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экология, экстракция, тиокомплексы молибдена

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зайцев Валерий Павлович, докт. хим. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Мокровицкая Наталья Владимировна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

ФИЛЬТР ДЛЯ ОЧИСТКИ БИОГАЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА

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

В.П. Друзьянова, О.П. Семенова, Е.Н. Кобякова

FILTER FOR PURIFYING BIOGAS FOR VEHICLE FUEL

North-Eastern federal university named M.K.Ammosov

V.P. Druz'yanova, O.P. Semenova, E.N. Kobyakova

We propose a standalone filter, installed in the fuel system of gasoline vehicles to clean biogas - alternative motor fuel.

Keywords: motor fuel, harmful emissions, biogas, filter, methane, cleaning, zeolite, activated carbon

Предложен автономный фильтр, устанавливаемый в топливную систему бензиновых автомобилей, для очистки биогаза – альтернативного моторного топлива.

Одной из основных задач при эксплуатации автотранспорта является разработка мероприятий по защите окружающей среды от токсичных компонентов выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС). От ДВС на жидких топливах агрессивных выбросов получается намного больше, чем от газовых ДВС. Таким образом, использование газового топлива в ДВС является весьма актуальной задачей.

Биогаз один из наиболее экологически чистых топлив для транспортных средств, поскольку производит минимальный объем выбросов по двуокиси углерода и твердым частицам. Газовый двигатель работает тише, уменьшаются вибрации, что способствует улучшению условий труда водителей [1].

Эффективность биогаза как моторного топлива зависит от содержания метана и отсутствия таких вредных примесей, как сероводород, аммиак, углекислый газ и влаги. Их наличие способствует образованию коррозии металла, засорению и быстрому износу деталей и узлов агрегата. Именно по этой причине, до начала применения в бензиновых двигателях внутреннего сгорания, биогаз следует подвергнуть тщательной очистке.

Новизна исследований заключается в том, что в качестве основного фильтрующего элемента предлагаем использовать природный минерал цеолит, добываемый на Хонгуринском месторождении Сунтарского района Республики Саха (Якутия) [2].

Цеолиты являются приоритетными адсорбентами в процессах адсорбционного извлечения диоксида углерода из газовых потоков при обычных температурах и небольших давлениях. Цеолиты – кристаллические «нано» пористые твердые тела с диаметром пор приблизительно 1 нм, являются хорошими сорбентами для многих органических и неорганиче-

ских веществ. Высокие молекулярно – ситовые свойства позволяют использовать их в различных сферах деятельности человека: в очистке воды, производстве минеральных удобрений, земледелии, животноводстве и птицеводстве, в качестве дезодоранта животноводческих помещений, при производстве цемента [3].

Для использования биогаза в бензиновых ДВС необходимо очистить его от вредных примесей (влаги, серы и аммиака) и довести содержание метана в биогазе до 80% и выше. Наиболее простым и экономичным способом очистки биогаза является сухая очистка в специальных фильтрах. Как показали эксперименты предыдущих исследований [4], наивысшей степени очистки биогаза можно добиться при использовании природного цеолита в качестве наполнителя. Таким образом, была поставлена задача – собрать автономный биогазовый фильтр с цеолитовым наполнителем, устанавливаемый в топливную систему легковых автомобилей с газобаллонным оборудованием.

Наполнитель – промышленный гранулированный цеолит, производимый ООО «Сунтарцеолит» Сунтарского района республики Саха (Якутия).

Эксперименты проводились в лаборатории «Альтернативные виды топлива» кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис» Автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, научным направлением которой являются исследования по разработке технологий получения альтернативных моторных топлив, не уступающих по своим параметрам традиционным видам топлива.

Активацию образцов цеолита проводили термической обработкой. Заданные значения температуры нагревания (200 °С), времени (30 минут) были выбраны на основе данных, полученных предыдущими исследователями [5-7].

Эксперименты проведены при одинаковых статических условиях, температуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении.

Концентрацию метана на входе и на выходе из фильтра измеряли при помощи термохимического газоанализатора АМТ-03.

На первом этапе определили зависимости адсорбционных свойств цеолита от размера фракций. В экспериментах использованы образцы цеолита фракциями 10,0 и 20,0 мм. Результаты показали, что степень очистки биогаза образцами цеолита фракциями 10 мм достигает в среднем 6,87%, а фракциями 20 мм – 3,83%.

Проведен обзор и анализ применяющихся фильтров в системе питания автомобиля с газовым оборудованием. В итоге решено использовать корпус фильтра грубой очистки топлива КамАЗ-740.

Первые опыты показали, что цеолитовый наполнитель в том объеме, в котором находится в априорируемом фильтре, требует большего времени на очистку или же создания дополнительного давления. Таким образом, было решено добавить объем активированного угля.

В конечном итоге опытный фильтр состоял из двух отсеков – с природным цеолитом и активированным углем. Также фильтр оснащен входным и выходным штуцерами. Очищаемый биогаз вначале проходит через слой активированного угля и попадает в цеолитовый слой.

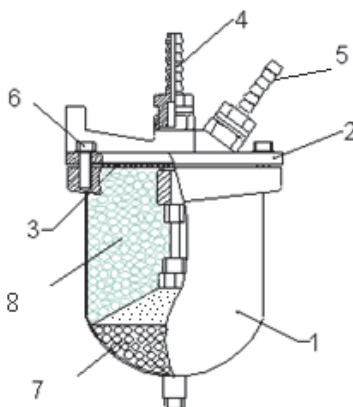


Рисунок – Общий вид фильтра для очистки биогаза: 1-корпус; 2-крышка; 3-кольцо уплотнительное; 4-входной штуцер; 5-выходной штуцер; 6-болт; 7-активированный уголь; 8-цеолитовые гранулы

Испытывали следующие соотношения активированного угля – в 5, 10 и 15% от всего объема адсорбента. Наилучшие результаты получили при добавлении в цеолит 15% активированного угля.

По истечении некоторого периода цеолитовый наполнитель загрязняется, его поры забиваются примесями серы и воды.

Регенерацию цеолита проводили при температурах 100, 150, 200 °С и времени 2700 с (45 минут). Качественная регенерация цеолита прошла при температуре 200 °С.

Исходя из парка автомобильной техники с бензиновыми ДВС, применяемых в аграрном секторе Республики Саха (Якутия) на 2014 год на основании среднегодовых пробегов рассчитаны выбросы в атмосферу относительно CO.

Таблица 1 – Парк автомобильной техники на 2014 год

№	Наименование и марка автомобилей	Количество техники, шт.	Средний суточный пробег, км	Средний годовой пробег всех автомобилей, км
1	УРАЛ-375Н	508	220	111760
2	ЗиЛ-130	704	160	112640
3	ЗиЛ-131	910	160	145600
4	ГАЗ-53А	685	180	123300
5	ГАЗ-66	945	180	170100
6	ГАЗ-33021 «Газель»	840	150	126000
7	ГАЗ-3308 «Садко»	1665	150	249750
8	УАЗ-3909 (фермер)	1754	150	263100
9	УАЗ-451ДМ	1234	150	185100
10	УАЗ-3303	1194	150	179100
	Всего	10439	1650	1666450

Таблица 2 – Ожидаемый эффект при переводе на биогаз

Наименование	При работе на нефтяном топливе	При переводе 40% парка на биогаз
Количество автопарка, шт.	10 439	6 257
Среднегодовой пробег, км/год.	487 936 560	304 263 120
Выбросы в атмосферу при работе на нефтяном топливе относительно CO, т/год	15 857,938	9 888,551

Акцент ставится на автомобили «УАЗ», которые составляют 40%. При их переводе на биогаз теоретический объем вредных выбросов CO снизится на 5969,386 т/год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Производство биогаза в Республике Беларусь и Швеции. Обмен опытом: отчет о выполнении проекта. — 2012.
- 2 Друзьянова, В. П. Цеолит и перспективы его использования при очистке биогаза / В. П. Друзьянова, Н.В. Петров // Технические науки — от теории к практике: материалы XVIII междунар. заоч. науч.-практ. конф. (20 февр. 2013 г.).
- 3 Цеолиты: теперь еще объемнее! [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL:<http://www.nanometer.ru/2010/01/09/ceoliti162169.html> . — 20.03.2014 г.
- 4 Семенова, О.П. Цеолит -наполнитель фильтра для очистки биогаза / О. П. Семенова // Вестн. СВФУ. — 2014. — № 4. — с. 5—7.
- 5 Актуальные проблемы освоения цеолитового сырья месторождения Хонгуруу: материалы науч. чтений, посвящ. памяти первооткрывателя месторождения К.Е. Колодезника. — Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2005. — 124 с.
- 6 Рейтер, П.А. Влияние условий термической подготовки цеолитов на адсорбцию паров воды / П.А. Рейтер, с.А. Анурова // Успехи в химии и хим. технологии. — 2008. —Т. XXII, № 9(89). — с. 84—86.
- 7 Подбор условий предварительной активации цеолита NAX с применением метода планирования эксперимента / М.Б. Алехина, Е.Н. Иванова, с.Л. Анхазарова, Т.В. Конькова // Вестн. ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. — 2014. — № 2. — с. 5—7.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моторное топливо, вредный выброс, биогаз, фильтр, метан, очистка, цеолит, активированный уголь

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Друзьянова Варвара Петровна, канд. техн. наук, доцент ФГАОУ ВПО «СФВУ»
Семенова Ольга Пантелеймоновна, старший преподаватель ФГАОУ ВПО «СФВУ»
Кобякова Елена Николаевна, старший преподаватель ФГАОУ ВПО «СФВУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 677000, г.Якутск, ул.Белинского, 58, ФГАОУ ВПО «СФВУ»

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ЗООГУМУСОМ НА ОСНОВЕ ЛИЧИНОК *MUSCA DOMESTICA*

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

М.В. Клименко, В.П. Зайцев, А.И. Голомянов

IRON AND HEAVY METALS REMOVAL FROM WATER WITH *MUSCA DOMESTICA* LARVAE-BASED ZOOGUMUS
Siberian state university of water transport
Novosibirsk state agrarian university
M.V. Klimenko, V.P. Zaytsev, A.I. Golomyanov

Humic acids, which are contained in zoogumus, are an efficacious iron and heavy metals sorbent media. Zoogumus makes it possible to productively remove metals under neutral and alkalinescent conditions. The given sorbent media removes ions of iron and heavy metals from water in a relatively narrow range of pH=5,5-7,5 and can be applied for multimetal removal and reduction.

Keywords: sorption, zoohumus, heavy metals

Гуминовые кислоты, содержащиеся в зоогумусе, являются эффективным сорбентом по отношению к ионам железа и тяжелых металлов. Зоогумус обеспечивает возможность эффективного извлечения металлов в нейтральных и слабощелочных средах. Этот сорбент извлекает металлы в довольно узком интервале pH=5,5-7,5 и может быть использован для коллективного извлечения металлов и их концентрирования.

Высокая токсичность тяжелых металлов для живых организмов является основной причиной поиска методов нейтрализации данной группы химических веществ. Адсорбция на таком природном сорбенте как зоогумус – перспективный метод очистки сточных вод и детоксикации почв от ионов тяжелых металлов.

Зоогумус – продукт биологической переработки отходов животноводства личинками копрофагоф, может быть использован в качестве высокоэффективного удобрения [1], а также в качестве сорбента нефтепродуктов [2].

Зоогумус, который представляет собой сыпучую массу темно-коричневого цвета, содержит до 15% гуминовых кислот и их солей [1]. Гуминовые кислоты – высокомолекулярные соединения, склонные к ассоциации. Наличие карбоксильных и фенольных групп в структуре гуминовых кислот и их солей обеспечивает образование прочных комплексов этих кислот с ионами металлов, в том числе с ионами тяжелых металлов. Поэтому представляется возможным использовать их в качестве сорбентов для очистки сточных вод [3].

Для исследования взаимодействия ионов свинца Pb^{2+} , кадмия Cd^{2+} и железа Fe^{2+} с гуминовыми кислотами применяли исходные растворы солей $Pb(NO_3)_2$, $CdSO_4$ и $FeSO_4$ с концентрациями 1,0; 5,0; 10; 50; 100 г/л зоогумуса. Сорбцию проводили в статических условиях при перемешивании в течение 15 минут при температуре 20 °С.

Концентрацию металлов в растворах контролировали с помощью атомно-абсорбционного спектрометра GBC в санитарно-гигиенической лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Новосибирской области». Степени извлечения металлов рассчитывали по разности исходной и остаточной концентраций.

В таблице 1 представлены результаты исследования зависимости степени извлечения ионов свинца, кадмия и железа от расхода зоогумуса. Как видно из таблицы 1, при увеличении исходного содержания металлов в растворе расход сорбента повышается. Степень извлечения увеличивается в ряду катионов



Гуминовые кислоты исследуемого зоогумуса представляют собой анионные полиэлектролиты, содержащие в своем составе карбоксильные и фенольные группы. Известно, что наиболее характерно для извлечения катионов из водных растворов жидкими катионобменниками зависимость $\lg D_{Me}$ от pH равновесной водной фазы [4, 5]. Коэффициент распределения D выражается уравнением

$$D = Y/X, \quad (2)$$

где Y, X – равновесные концентрации распределяющего вещества в органической и водной фазах соответственно.

Таблица 1 – Зависимость степени извлечения свинца, кадмия и железа от расхода зоогумуса

№ п/п	Расход зоогумуса, г/л	СР _{Pb} , мг/л	Степень извлечения, %	СС _{Cd} , мг/л	Степень извлечения, %	СFe, мг/л	Степень извлечения, %
1	–	0,60	–	0,154	–	10,8	–
2	1	0,53	11,7	0,04	74,0	2,46	77,2
3	5	0,52	13,3	0,032	70,2	1,91	82,3
4	10	0,42	30,0	0,023	85,1	0,17	98,4
5	50	0,409	31,8	0,017	89,0	0,03	99,7
6	100	0,027	55,0	менее 0,0005	более 99,7	менее 0,01	более 99,9

По аналогии было исследовано распределение металла между постоянным объемом водной фазы и постоянным количеством зоогумуса. На рисунке 1 приведены экспериментальные данные по межфазному распределению металлов между зоогумусом и водным раствором соли. Увеличение коэффициента распределения металлов при повышении pH раствора приводит к увеличению извлечения металлов гуминовыми кислотами в соответствии с механизмом катионного обмена.

Экспериментально полученная зависимость $\lg D_{Me}$ от pH равновесной водной фазы дает важную информацию об условиях сорбции и десорбции металлов. Зоогумус обеспечивает возможность эффективного извлечения металлов в нейтральных и слабощелочных средах, так и десорбцию металлов кислотой, что указывает на возможность многократного использования зоогумуса для очистки сточных вод.

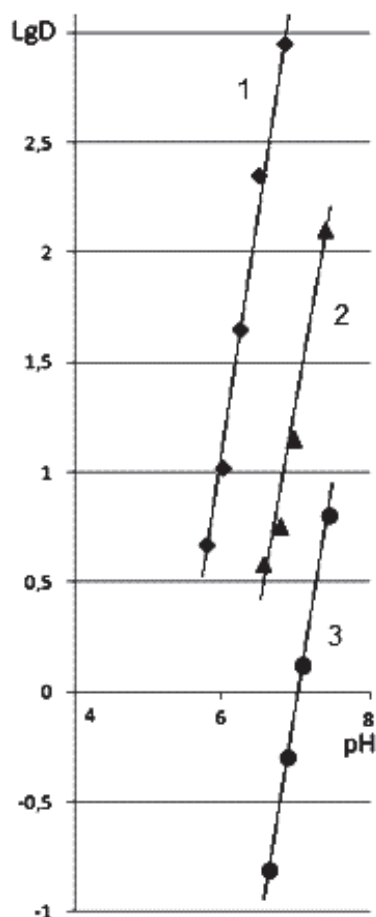


Рисунок 1 – Зависимость $\lg D_{Me} = f(pH)$ при извлечении металлов из водных растворов солей постоянным количеством зоогумуса (10 г), $C_{исх}$, мг/л: 1-Fe, 10,8; 2-Cd, 154; 3-Pb, 0,60

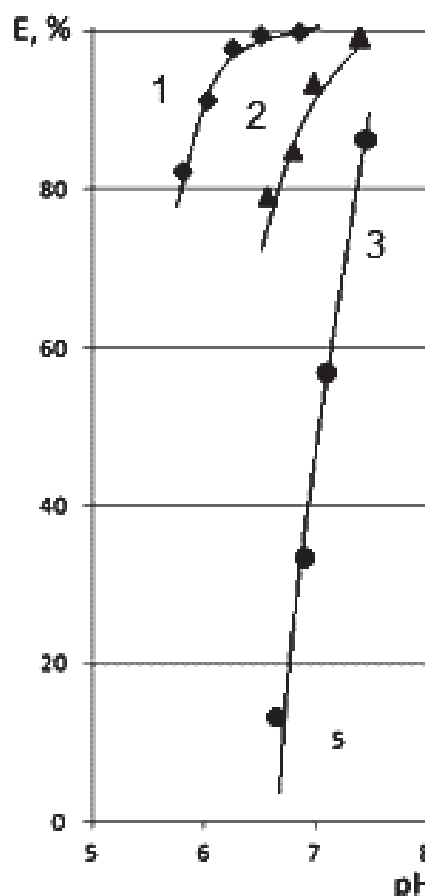


Рисунок 2 – Зависимость степени извлечения металлов зоогумусом от кислотности водной фазы: 1-Fe²⁺; 2-Cd²⁺; 3-Pb²⁺

Экспериментальные данные, представленные на рисунке 2, показывают, что максимальное извлечение зоогумусом ионов железа, кадмия и свинца в изученном диапазоне pH достигается при pH > 8. Однако необходимо отметить, что сорбционное разделение иссле-

двух металлов затруднено. Зоогумус извлекает металлы в довольно узком интервале рН=5,5-7,5 и может быть использован для коллективного извлечения металлов и их концентрирования.

Гумусовые кислоты являются основными компонентами органической части почвы, торфа [6, 7]. Высокая степень связывания железа и ионов тяжелых металлов свидетельствует об их ярко выраженных протекторных свойствах, благодаря которым они играют важную роль в процессах самоочищения водных и почвенных экосистем, связывая как тяжелые металлы, так и органические экотоксиканты [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Биотехнология переработки органических отходов и экология / И.И. Гудилин [и др.]; ред. И.И. Гудилина, А.Ф. Кондратова. -Новосибирск: Новосиб. кн. изд-во, 1999. -393 с.
- 2 Зайцев, В.П. Доочистка судовых нефтесодержащих вод зоогумусом / В.П. Зайцев, М.В. Клименко, А.И. Голомянов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2014. -№1/ 2. -С. 353-355.
- 3 Сорбция ионов тяжелых металлов гуматами аммония, натрия и калия / А.Д. Будаева, Е.В. Золтоев, Н.В. Бодоев, Т.А. Бальбурова // Фундамент. исслед. -2005. -№ 9. -С. 112-113.
- 4 Гиндин, Л.М. Экстракционные процессы и их применение / Л.М. Гиндин. -Москва: Наука, 1984. -144 с.
- 5 Вольдман, Г.М. Основы экстракционных и ионообменных процессов гидрометаллургии / Г.М. Вольдман. -Москва: Металлургия, 1982. -376 с.
- 6 Кузнецова, И.А. Сорбционные свойства и модификация торфяных гуминовых кислот / И.А. Кузнецова, К.Г. Боголицын, Т.А. Бойцова // Вестн. Север. (Аркт.) федер. ун-та. Естеств. науки. -2013. -№ 1. -С. 37-40.
- 7 Торф, торфяные почвы, удобрения / Н.Г. Ковалева [и др.]. -Тверь, 1998. -239 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сорбция, зоогумус, тяжелые металлы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Клименко Мария Викторовна, аспирант ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Зайцев Валерий Павлович, докт. хим. наук, профессор ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Голомянов Александр Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГАУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «СГУВТ»

630039, г.Новосибирск, ул.Добролюбова, 160, ФГБОУ ВПО «НГАУ»

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Масленников С.Н. ИНФРАСТРУКТУРА ТРАНСПОРТА: ЛОГИКА И ЛОГИСТИКА	3
Варакса А.М. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ	6
Тaubкин Г.В., Коптелов О.Г., Быкова Г.П. ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ МАРШРУТНЫХ РАСПИСАНИЙ ДЛЯ МАЛЫХ ПАССАЖИРСКИХ АВТОПРЕДПРИЯТИЙ	9
Никитенко Д.О. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ РОССИИ	12
Павлова В.Л., Рублев М.Г. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ «КРЕСТ БЕЗОПАСНОСТИ»	15
Масленникова Е.А. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА	18
Аршба Л.Н., Головащенко Р.В. ВНЕДРЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМИ ЗАТРАТАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	20
Михайлова М.Ю. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ	22
Тулеев Д.А. ЗАДАЧИ И ПРИОРИТЕТЫ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФКУ «СИБУПРАВТОДОР»	25
Спицына И.Н., Волкова О.Ю. ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОПРОЦЕССНОГО МЕТОДА НОРМИРОВАНИЯ ТРУДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ ОАО «РЖД»	29
Прудников А.А., Макарова Е.А. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА В ХОЗЯЙСТВЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	31
Джурабаева Г.К., Панарин И.И. МЕТОДИКА ПОИСКА КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ	36
Волкова О.Ю., Речкунова О.В. ОПЫТ РАСЧЕТА МОТИВАЦИОННОГО ВОЗНАГРАЖДЕНИЯ РАБОТНИКОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	40
Спицына И.Н., Филатов И.В. К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ПРЕЙСКУРАНТА ЦЕН НА РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА	42
Корховая Е.А. ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ВОСТОКЕ РОССИИ	45
Веселов Г.В., Минеев В.И., Шишкина М.А. К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ТОРГОВЫЙ ФЛОТ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ	49
Путилова Н.Н. СИСТЕМНОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА	51

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Ланис А.Л., Хан Г.Н. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕНИЯ НАСЫПНОГО МАССИВА	55
Коротков Е.А., Константинов А.О., Смирнов П.В., Иванов К.С. ЕВРОПЕЙСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕНОСТЕКЛА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНАЛОГИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	58

СУДОВОЖДЕНИЕ

Сичкарев В.И. ХАРАКТЕРНЫЕ ТОЧКИ БОЛЬШОГО КРУГА ДВУХ ЗВЁЗД ОТНОСИТЕЛЬНО ИХ РАЗНОСТЕЙ ВЫСОТЫ И АЗИМУТА	62
Сичкарев В.И. ПРЯМОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБСЕРВОВАННЫХ КООРДИНАТ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ РАЗНОСТЕЙ ВЫСОТ И АЗИМУТОВ СВЕТИЛ	67
Комаровский Ю.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ВИРТУАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ DGPS- СТАНЦИИ	73
Бимбереков П.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОГО ЧИСЛА ИЗМЕРЕНИЙ ОСТАТОЧНЫХ ТОЛЩИН НА УЧАСТКЕ ЭЛЕМЕНТА СВЯЗИ КОРПУСА СУДНА НА ОСНОВЕ ОЦЕНОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ЗАПАСА ТОЛЩИН И РЕКОМЕНДУЕМЫХ СКОРОСТЕЙ ИЗНАШИВАНИЯ	76
Бимбереков П.А. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЙ ОСТАТОЧНЫХ ТОЛЩИН И МЕСТНЫХ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИИ	80

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Кочергин В.И., Куприянов А.О. К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МОТОРНОГО МАСЛА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	85
Тюнюкова Т.К. ВЫРЕЗКА ОТВЕРСТИЙ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ И МНОГОСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЯХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ.....	88
Кича Г.П., Таращан Н.Н., Надежкин А.В. СТОХАСТИЧЕСКАЯ КАПИЛЛЯРНАЯ МОДЕЛЬ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ ФИЛЬТРОВАНИЕМ.....	91
Токарев А.О., Мироненко И.Г. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМОВ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕХНИКИ.....	98
Черный С.Г. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНОЙ ГЛУБОКОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	102
Щербакова О.В., Борисенко Ю.В. ПРИМЕНЕНИЕ ВИНТОВЫХ ПРУЖИН В ОПОРАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	106
Викулов С.В. МОНИТОРИНГ ОБВОДНЁННОСТИ РАБОТАЮЩЕГО МОТОРНОГО МАСЛА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ.....	108
Викулов С.В., Фомин Н.Н. АЛГОРИТМ ПОИСКА ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИН ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ.....	110
Шувалов Г.В., Селятицкий В.Г., Клековкина М.Г., Васильева Т.В. ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ	114
Шувалов Г.В., Клековкин И.В., Клековкина М.Г., Ясырова О.А., Абрамова Е.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	116
Надежкин А.В., Старченко М.Е. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ИЗНОШЕННОСТИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА РЕЖИМ ТРЕНИЯ И ВИДЫ ИЗНАШИВАНИЯ	120
Шувалов Г.В., Генералов В.М., Ясырова О.А., Абрамова Е.А. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ ЧАСТИЦ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ	124
Фомичев П.А., Фомичева Е.В. АНАЛИЗ ПРИЧИН, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ТИПА.....	126
Кукис В.С., Шабалин Д.В. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИХРЕВЫХ ТРУБ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА.....	129
Николаев А.Г., Куделин О.Г. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАССЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ В ВЫХЛОПНОМ КОЛЛЕКТОРЕ ДИЗЕЛЯ	133
Анферов В.Н., Кузьмин А.В. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИВОДОВ МАШИН С ЧЕРВЯЧНЫМИ ПЕРЕДАЧАМИ.....	137
Барановский А.М., Федосеева М.А. КОЛЕБАНИЯ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ	142
Фомин Н.Н. СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПОВРЕЖДЕНИЙ ПО ИНТЕГРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ	146
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	
Сальников В.Г., Денчик Ю.М., Иванов М.Н., Ковалева Н.А. КОНДУКТИВНЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬЮ НАПРЯЖЕНИЯ, В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ (0,4-2) кВ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СКВАЖИНЫ ПО ДОБЫЧЕ НЕФТИ	150
Зырянов В.М., Митрофанов Н.А., Соколовский Ю.Б. АНАЛИЗ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПРЯЖЕНИЯ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	154
Сопов В.И., Кузнецов А.П., Иванов А.В. СИСТЕМА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УПРАВЛЕНИЕМ УРОВНЯМИ НАПРЯЖЕНИЙ НА ТОКОПРИЕМНИКАХ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА	160
Кремлев И.А., Кузнецов А.А., Терёхин И.А., Скоков Р.Б. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КРИВОЙ ТОКА УПРАВЛЯЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОВАЗА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	162
Буйносов А.П., Мишин Я.А. ПОВРЕЖДЕНИЕ РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ ЭЛЕКТРОВАЗОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ.....	166
Русина А.Г., Романов А.В., Совбан Е.А., Филиппова Т.А. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ДЕФИЦИТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЗОНЕ АЛТАЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ.....	169

СОДЕРЖАНИЕ

Морозов П.В. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, СНИЖАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ТРЕХФАЗНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ	172
Красильникова Т.Г., Потапенко А.М. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В НЕОДНОРОДНЫХ СХЕМАХ	175
Шпиганович А.А., Скоморохов П.И. ВОЗМУЩЕНИЯ РЕЗКОПЕРЕМЕННОГО ХАРАКТЕРА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ	179
Базавлук А.А., Горелов В.П., Денчик Ю.М., Цивилев И.Ю. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КОММУТАЦИЯХ ВАКУУМНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ 110 кВ	182
Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Шачнев О.Я. АПРОБАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РЕЗКОПЕРЕМЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ	186
Палагушкин Б.В., Дёмин Ю.В., Елизаров Д.А., Алаев Е.Г., Власов И.Л., Герасименко А.С., Денчик Ю.М. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	188
Кузнецов А.Ю. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ	194
Иванова Е.В., Ковалева Н.А., Глотов А.А. МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	197
Клецель М.Я., Никитин К.И., Таронов К.С. ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТ ЛИНИЙ К ДВУХФАЗНЫМ КОРОТКИМ ЗАМЫКАНИЯМ ЗА МАЛОМОЩНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ	201
Мусин А.Х., Зарубин А.А. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	205
Хрущев Ю.В., Беляев Н.А. АЛГОРИТМЫ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ И РЕГУЛЯТОРА В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА АДАПТИВНОГО УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ	208
Зарубина Т.Ю., Платонова Е.В., Чистяков Г.Н. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ САЯНОГОРСКОГО УЗЛА ХАКАССКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ	213
Горелов С.В., Манчук Г.Р., Мочалин К.С., Левчишин О.Н., Спирев С.М. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	218
Третьяков Е.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ЗА СЧЕТ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ	222
Овсянников А.Г., Арбузов Р.С., Тарасов А.Г., Фролкин Е.Н. МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	226
ЭКОЛОГИЯ	
Бучельников М.А. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛАНИРУЕМЫХ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА КОЛПАШЕВСКОМ ПЕРЕКАТЕ РЕКИ ОБИ	230
Зайцев В.П., Мокровицкая Н.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ТИОКОМПЛЕКСОВ МОЛИБДЕНА С ЦЕЛЬЮ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА	233
Друзьянова В.П., Семенова О.П., Кобякова Е.Н. ФИЛЬТР ДЛЯ ОЧИСТКИ БИОГАЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА	236
Клименко М.В., Зайцев В.П., Голомянов А.И. ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ЗООГУМУСОМ НА ОСНОВЕ ЛИЧИНОК <i>MUSCA DOMESTICA</i>	239

УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №2 журнала за 2015 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 15 июня 2015 г.

Заявка на публикацию научной статьи в №2 журнала за 2015 год

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

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

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

Дата

Подпись(и)

Требования к представлению материалов:

- 1 Статья (оригинал) и ее электронная версия в формате MS WORD (объем 3-5 страниц А4, шрифт Arial размер 14, одинарный интервал, поля 2 см).
- 2 Заявка (оригинал) и ее электронная версия в формате MS WORD 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 и др.), 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). ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет 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
№1 за 2015 год

Главный редактор – Зачёсов В.П.

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.

Подписано в печать 24.03.2015 г. с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.
Усл. печ. л. 28,4; тираж 500 экз. Заказ №
Цена свободная.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»
(ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68,
факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-22440 выдано 20.12.2005 г.

ISSN 2071-3827

Подписной почтовый индекс 62390