

## **ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА**

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

**В.М. Бунеев**

**EVALUATION OF WATER TRANSPORT HIGHWAYS OB-IRTYSH BASIN**

Novosibirsk state academy of water transport

V.M. Buneev

The article presents the results of the analysis and evaluation of water transport routes for transport by the Ob-Irtysh basin.

*Keywords: Ob-Irtysh basin, transport use*

Изложены результаты анализа и оценки транспортного использования водных магистралей Обь-Иртышского бассейна при перевозке грузов.

В числе основных задач маркетинговых исследований на речном транспорте [2] – установление общих тенденций и закономерностей функционирования речного транспорта. Решение ее, прежде всего, связано с анализом и оценкой транспортного использования водных магистралей бассейнов внутренних водных путей. Они являются элементом региональных опорных транспортных сетей и играют различную роль в зависимости от степени их развития. Так, водные магистрали Обь-Иртышского бассейна занимают достаточно значимое положение в транспортной сети Западно-Сибирского региона, особенно в Северных районах арктической зоне.

Функционирование и развитие хозяйственного комплекса региона во многом обусловлено особенностями сложившейся транспортной системы по сравнению с другими регионами России, прежде всего – Европейской части. Во-первых, отмечаются большие расстояния, которые приходится преодолевать при доставке грузов и перевозке пассажиров из Сибири в главные центры России и морские порты России и наоборот. Во-вторых, главным элементом транспортно-инфраструктурной системы освоения и обслуживания региона присуща неравномерность. Эти элементы представляют собой железнодорожные магистрали и автомобильные дороги, которые обслуживают в основном южную часть региона, а водные пути обеспечивают хозяйственную консолидацию территории с юга на север. В транспортно-экономическом отношении северная часть региона испытывает сложности, так как здесь имеются сезонные водные пути и самые дорогостоящие виды транспорта – автозимники и воздушный.

Экономика Западно-Сибирского региона имеет четко обозначенный ресурсо-сырьевой характер. Здесь расположены крупнейшие газовые и нефтеносные месторождения. В связи с этим отмечается повышенная роль грузового транспорта и перевозок массовых грузов на большие расстояния по сравнению с другими регионами России. Для большинства северных районов Сибири типичным является безальтернативность действующих транспортных схем и ограниченность сферы взаимодействия видов транспорта и путей сообщения. В их числе естественные внутренние водные пути, которые представлены крупными сибирскими реками и их притоками. В Западно-Сибирском регионе – это Обь и Иртыш. По ним осуществляются перевозки грузов в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности; завоз грузов на боковые и малые реки; добыча из русла и перевозка нерудных строительных материалов; перевозка массовых грузов и нефтепродуктов на большие расстояния, тяжеловесных и крупногабаритных грузов; перевозка грузов в контейнерах и пакетах. Спрос на перевозки в районы Крайнего Севера имеет устойчивую тенденцию роста и будет развиваться в ближайшей перспективе. Что касается остальных, то следует отметить их неустойчивый, нестабильный характер, обусловленный конъюнктурой рынка транспортных услуг.

Добыча и перевозка нерудных строительных материалов традиционно занимает ведущее место в производственно-хозяйственной деятельности судоходных компаний, речных портов и других хозяйствующих субъектов. Эти перевозки составляют более 70% от общего объема транспортной продукции. Доставка нерудных строительных материалов имеет характерную особенность весь цикл работ от добычи до продажи выполняет непосредственно речной транспорт.

Номенклатура перевозимых грузов достаточно разнообразна:

- сухие грузы (минерально-строительные, металлургический шлак, лесные, природный камень и щебень, металл, оборудование, уголь, цемент, удобрения, хлебные и пр. грузы);
- нефтеналив (дизельное топливо, бензин, авиокеросин, газовый конденсат). Перевозки сухогрузов преобладают в структуре грузопотоков (70%).

Взаимодействие речного транспорта с сухопутными (автомобильном и железнодорожным) осуществляется через транспортные узлы, функционирующие на базе речных портов. Таковыми в Обь-Иртышском бассейне являются: Барнаульский, Новосибирский, Сургутский, Сергино, Салехардский, Омский, Тобольский и Томский. Роль их в транспортном обеспечении Западно-Сибирского региона велика. Здесь осуществляется перегрузка грузов с речного транспорта на сухопутные и обратно, хранение грузов, обслуживание подвижного состава, а также оказываются логистические услуги. Характеристика речного транспорта, как элемента транспортно-инфраструктурной системы Западно-Сибирского региона дополнена оценкой использования участков реки Обь для перевозки грузов. В качестве таковой принят показатель густоты перевозок. Информационной базой послужили статистические данные по грузовым перевозкам за 2010-2011 гг. крупных судоходных компаний: ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство»; ОАО «Томская судоходная компания», ОАО «Иртышское пароходство» и ОАО «Обь-Иртышское речное пароходство». Результаты оценки транспортного использования участков реки Обь приведены в таблице 1. (Здесь не учтены местные перевозки добываемых нерудных строительных грузов).

На их основе установлено, что для осуществления перевозок грузов наиболее интенсивно используются участки: устье р. Томь-Колпашево-Каргасок-Соснино-Нижневартовск; В меньшей степени: Новосибирский шлюз-устье р. Томь и Тобольск-устье р. Иртыш, Нижневартовск-Сургут-устье р. Иртыш-о. Пароходский. Наименьшее значение показателя густоты перевозок на участке Устье р. Бия-Барнаул. Полученные результаты оценки транспортного использования в полной мере соответствуют сложившейся ситуации на региональном рынке транспортных услуг и занимаемого положения речного транспорта в обслуживании хозяйственного комплекса Западной Сибири.

*Таблица 1 – Объем перевозок по участкам реки Обь и Иртыш в 2010-2011 году, тыс. т*

Участок реки	Сухогрузы	Налив	Всего
<i>река Обь</i>			
Устье р. Бия-Усть-Чарышская пристань	34,0	–	34,0
Усть-Чарышская пристань-Барнаул	97,5	–	97,5
Барнаул-Камень-на-Оби	278,0	–	278,0
Камень-на-Оби-Спирино	215,0	–	215,0
Спирино-Новосибирский шлюз	45,0	–	45,0
Новосибирский шлюз-устье р. Томь	544,3	35,5	579,8
Устье р. Томь-устье р. Чулым	1820,4	65,5	1885,9
Устье р. Чулым-Колпашево	1820,4	65,5	1885,9
Колпашево-Каргасок	1616,7	65,5	1682,2
Каргасок-Соснино	1500,7	65,5	1566,2
Соснино-Нижневартовск	1360,1	65,5	1425,6
Нижневартовск-Сургут	730,5	65,5	796,0
Сургут-устье р. Иртыш	681,1	2,0	683,1
Устье р. Иртыш-о. Пароходский	395,9	93,0	488,9
о. Пароходский-устье р. Палуй	176	84	260
Устье р. Палуй-о. Большие Яры	218,3	118,5	336,8
о. Большие Яры-устье р. Обь	150	118,5	268,5
<i>река Иртыш</i>			
Черлак-Омск	–	18,7	18,7
Омск-Ишим	85,5	108,3	193,8
Ишим-Тобольск	83,5	65,1	148,6
Тобольск – устье р. Иртыш	81,9	600,5	682,4

Поскольку речной транспорт является обслуживающей инфраструктурой, то прогнозная оценка использования реки Обь для перевозок грузов обусловлена перспективой регионального развития. Наибольшие из них связаны с арктической зоной. Так, по прогнозу до 2030 года объем добычи газа на Ямале в совокупности по наиболее подготовленным месторождениям (Бованенковское, Харасавейское и др.) составит от 150 до 300 млрд. м<sup>3</sup> в год (соответственно, минимальный и максимальный уровни).

От перспектив освоения месторождений Ямала существенно зависят перспективы освоения месторождений Дальнего Востока и Сибири, прежде всего в Красноярском крае. Стратегия развития здесь принята «Замыкающей». Это связано с созданием единой газопроводящей системы в рамках России и заменяемости газа Ямала и газа Восточной Сибири или Дальнего Востока и наоборот. Такая стратегия в наибольшей степени влияет на крити-

ческие изменения как в политике освоения месторождений Ямала, так и на перспективу экспортных поставок в Китай и республику Корея.

В арктической зоне Западно-Сибирского региона расположены также крупные годовые месторождения Ямбургское и Уренгойское, разведанные запасы в объеме 11400 млрд. м<sup>3</sup>. Их освоение начато в XX веке и интенсивно продолжается в настоящее время. Вместе с Ямальскими месторождениями они входят в Ямальский акваторреториально-производственный комплекс.

Реализация перспектив развития экономики Западно-Сибирского региона связана с перспективами развития опорной транспортной сети. Намечено строительство трубопроводов, железных и автомобильных дорог, морских портов на Ямале. Так, в Обской губе будет построен морской порт и аэропорт «Соббето» [1]. Для осуществления этих планов потребуется завести большое количество различных грузов: строительных, оборудования, техники и др. В связи с этим более интенсивно будут использованы нижние участки реки Обь: Устье р. Иртыш-устье р. Обь. Густота перевозок здесь может увеличиваться в 2-3 раза.

В качестве дополнительного показателя оценки транспортного использования водных магистралей служебный объем транспортной продукции, выраженный в тоннах перевозимых грузов. В 2010 году крупными судоходными компаниями и предприятиями перевезено около 10 млн. т различных грузов. В их составе 45%-доля перевалочных грузов, таких как, щебень, шлак, уголь, ЖБИ, трубы и др. В таблице 2 приведена динамика перевозок крупнейших судоходных компаний, работающих в регионе. В пояснение к ней отмечается, что в итоговые цифры вошли местные перевозки добываемых из русла нерудно-строительных материалов.

*Таблица 2 – Динамика перевозок грузов в воднотранспортном бассейне Западной Сибири, тыс. т*

Наименование транспортного предприятия	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г. (прогноз)
ОАО «Обь-Иртышское речное пароходство»	1010	587	593	1500
ОАО «Иртышское пароходство»	520	822	489	800
ОАО «Тобольский речной порт»	800	1077	1182	1500
ОАО «Омский речной порт»	980	1747	1050	1700
ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство»	2230	514	1850	2000
ОАО «Новосибирский речной порт»	1370	1431	1112	1500
ОАО «Томская судоходная компания»	1760	1991	3510	3500
Итого	8670	8169	9786	12500

ОАО «Северречтранс» осуществляет пассажирские перевозки в границах Ханты-Мансийского автономного округа и на прилегающей территории на участках водного пути от Каргаска до Салехарда. Ежегодно в течении последних пяти лет перевозится 400-415 тыс. пассажиров. Судами обслуживается 29 пассажирских линий протяженностью от 30 до 650 км. Теплоходы типа «Метеор» выполняют рейсы на линии Тобольск-Салехард. Наибольшее количество линий начинается в Ханты-Мансийске (11 ед.). Наиболее напряженные участки водных путей являются: Ханты-Мансийск-устье р. Иртыш-Березово и Сургут-устье р.Иртыш.

Обобщая оценку транспортного использования водных магистралей Западно-Сибирского региона. В таблице 3 приведены показатели, характеризующие плотность водных путей, как соотношение их протяженности и площади территории субъектов Речной Федерации, а также количество отправленных грузов.

Кроме перевозок грузов в бассейне осуществляются перевозки пассажиров. По водным путям Оби перевозку осуществляют ОАО «Северречтранс», которое имеет комфортабельные скоростные пассажирские суда типа «Метеор», «Ракета», «Линда», «Иртыш» и другие и ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство» судами типа «Восход». В 2010 году два теплохода Восход на линии Каргасок-Колтагорск перевезли 13396 пассажиров.

*Таблица 3 – Характеристика воднотранспортной системы Западной Сибири*

Наименование субъектов РФ	Плотность водных путей, км/10 тыс. км <sup>2</sup>	Отправлено грузов в 2010 г., млн. т
Тюменская область	10	1,8
Омская область	110	2,6
Томская область	125	2,0
Новосибирская область	47	1,7
Кемеровская область	30	–
Алтайский край	88	0,3
Итого	95	8,4

1 Азиатская часть России: моделирование экономического развития в контексте истории / отв. ред. В.А. Ламин, В.Ю. Малов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние. -Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. -464 с. -(Интеграционные проекты СО РАН; вып. 34).

2 Бунеев, В.М. Особенности маркетинговых исследований на речном транспорте / В.М. Бунеев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 60-62.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Обь-Иртышский бассейн, транспортное использование*

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

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

## ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В ПУНКТЫ С НЕОБОРУДОВАННЫМ ПОБЕРЕЖЬЕМ

ФГБОУ ВПО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»

В.Е. Вальков, И.С. Карпушин

### OPTIMIZATION DELIVERY OF CARGOES IN PARAGRAPHS UNEQUIPPED COAST

Far Eastern state technical fisheries university

V.E. Valkov, I.S. Karpushin

The problems of optimizing the delivery of goods to the wild coast characterized by certain difficulties associated with the processing of ships at anchor. The use of amphibious all-terrain vehicles, enables a large number of tasks to ensure the sea lanes.

*Keywords: northern delivery, compressed-air supported caterpillars, the cross-country vehicle, cargo operation, cargo delivery*

Рассмотрены вопросы оптимизации доставки грузов на необорудованный берег характеризующиеся определенными трудностями, связанными с обработкой судов на рейде. Применение амфибийных вездеходов, позволяет решить значительное количество задач по обеспечению морских коммуникаций.

Значительная часть территории России имеет выход к морю и находится в арктических районах и это предопределяет необходимость интенсивного развития технических средств, для обеспечения грузоперевозок.

Рассматриваемые районы характеризуются суровыми природно-климатическими условиями. Продолжительность летнего навигационного периода составляет 90-120 суток. Но и в этот короткий период сравнительно часты нагоны дрейфующего льда. Средняя температура воздуха и воды колеблется в пределах 0-7 °С. Часты туманы и штормы. За лето земля успевает оттаять на 0,5-1,0 м, а под этим слоем – вечная мерзлота.

Наиболее эффективный вид транспорта – железнодорожный, ограничен вечной мерзлотой и сложностью рельефа местности, что делает практически невозможным проведение магистральных веток до Магаданской области, Чукотки и Камчатки. Замерзающие порты Тихоокеанского побережья и погодные условия ограничивают использование морских судов. Авиационные перевозки дорогостоящи и требуют сложной инфраструктуры, содержание которой в условиях Крайнего Севера трудоемко и связано с большими затратами. В связи со сложившимися условиями нельзя не отметить роль водного транспорта в развитии экономики страны и, в особенности, в обеспечении жизнедеятельности регионов Дальнего Востока и Крайнего Севера [1].

По данным транспортной группы «FESCO» (рисунок 1) арктическая навигация 2013 продолжилась 123 суток – на 6 суток дольше, чем в прошлом году. Объем перевезенных грузов по сравнению с прошлым годом увеличился на 41%, что в основном связано с развитием горно-геологической промышленности — увеличился объем ввезенного горнорудного и другого оборудования, вывоз золоторудных концентратов.

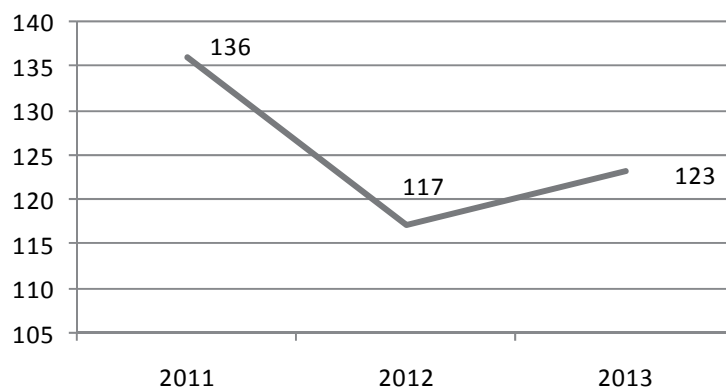


Рисунок 1 – Продолжительность арктической навигации, суток

Чаще всего рассматриваются проблемы доставки грузов в крупные арктические порты и портопункты с большим грузопотоком, отдаленные районы, не обладающие специализированными оборудованными для принятия судов пунктами, в большинстве работ не рассматриваются. Тем не менее, пункты, не обладающие устойчивым грузопотоком, являются неотъемлемой частью экономики Дальнего Востока и Арктики. А бурное развитие прибрежных предприятий занимающихся воспроизводством морских биоресурсов требует новых, ранее не использовавшихся, экономически выгодных транспортных схем по завозу грузов снабжения и вывозу продукции [3].

Работы в области оптимизации структуры флота, в которых комплекс транспортных средств рассматривался как сложная система, состоящая из взаимосвязанных и взаимодействующих друг на друга и на качество функционирования системы в целом элементов, ведутся в нашей стране с середины 60-х годов прошлого века. В последние десятилетие работы по оптимизации транспортных систем получили свое дальнейшее развитие. Особому вниманию среди разработчиков подвергаются исследования по разработке методологии оптимизации состава флота для обслуживания нефтегазовых месторождений, предприятий марекультуры и транспортных систем предназначенных для доставки грузов в пункты с необорудованным берегом. Исследовались возможности использования экспертных систем для планирования транспортно-технологических схем. Разрабатывались автоматизированные системы для обоснования развития транспортного флота. Рассматривались суда внутреннего и смешанного плавания, в том числе в условия продленной навигации и арктической навигации.

Характерным для работ арктической тематики является рассмотрение в качестве основной – проблемы доставки грузов в крупные арктические порты и портопункты с большим грузопотоком. Остальные отдаленные районы не обладающие специализированными оборудованными для принятия судов пунктами в большинстве работ не рассматриваются. Тем не менее, пункты, не обладающие устойчивым грузопотоком, являются неотъемлемой частью экономики Дальнего Востока и Севера. А бурное развитие прибрежных предприятий занимающихся воспроизводством морских биоресурсов требует новых, ранее не использовавшихся, экономически выгодных транспортных схем по завозу грузов снабжения и вывозу продукции. Автомобильные и железные дороги в таких районах, как правило, отсутствуют, а использование единственно возможного воздушного транспорта как правило связано с огромными затратами на единицу транспортной продукции.

На сегодняшний день в России около 100 порт-пунктов с необорудованным берегом, на которые приходится устойчивый грузопоток. Номенклатура грузов весьма разнообразна: продовольственные и снабженческие грузы, уголь, горюче-смазочные материалы в таре (ГСМ) весом одного места менее одной тонны, грузы в контейнерах, строительные материалы и конструкции, промышленное оборудование весом более 5 т и длиной свыше 9 м.

Сегодня Арктика и Дальний Восток становятся регионом, которому суждено определить будущее России.

Хотим мы этого или нет, но этот регион в будущем будет играть одну из основных ролей в экономике страны. Закончатся пустопорожние разговоры, придут люди, понимающие необходимость развития экономики Арктического региона и заинтересованные в этом. И вот тогда потребуется специальный флот, и ледоколы, и специалисты – и придется все создавать заново [3].

В настоящее время важно думать не только о том, как использовать несметные богатства этого края, но и о том, как защитить территориальную неприкосновенность российских арктических территорий и стратегические интересы нашей страны в этом регионе при, том международном ажиотаже, который поднялся вокруг Арктического региона в последние годы.

Нельзя забывать, что северное побережье России является одновременно самой протяженной границей нашей страны, а надлежащая защита ее без надежного транспортного обеспечения – невозможна [1].

Модернизация столь обширной территории столкнется с рядом трудностей. Весь регион представляет собой ряд труднодоступных областей, по изолированности своей, даже на материке, мало, чем отличающийся от удаленных островов Крайнего Севера. Имеющаяся там инфраструктура совершенно не отвечает современным требованиям, возлагаемым на грузовые и пассажирские перевозки. Значительные предполагаемые объемы грузов снабжения, оборудования и стройматериалов, а также изменившиеся требования к самим грузам пре-

допределяют актуальность внедрения современных технологий доставки грузов на необорудованный или частично оборудованный берег.

С учетом выполненных проектов, классификацию средств рейдовой разгрузки можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Классификация средств рейдовой разгрузки*

Кроме классификации средств разгрузки на плавсредства (амфибийные и неамфибийные), сухопутные и воздушные средства можно различать по виду базирования:

- средства берегового базирования;
- средства бортового базирования.

Выбор вида базирования средств рейдовой разгрузки должен решаться в каждом конкретном случае с учетом особенностей технологии грузопереработки, возможности хранения средств разгрузки на берегу и эксплуатационных затрат.

На выбор технологии рейдовой разгрузки решающее влияние оказывают гидрографические и природные условия необорудованного берега, а также род и количество груза.

Наиболее трудоемкими и лимитирующими по времени операциями рейдовой разгрузки являются:

- загрузка у борта судна;
- подход и отход от берега;
- перегрузка у берега с плавсредств на сухопутные транспортные средства;
- разгрузка транспортного средства у места складирования.

Для вертолетов данные операции не характерны, что является их решающим преимуществом по сравнению с другими средствами рейдовой разгрузки судов. Указанные операции также не характерны для судов фидерных снабженцев с удлиненными перегрузочными технологическими мостами, для судов с аппарелью, способных выгружаться на необорудованный берег. Также эти операции можно исключить в случае применения в качестве фидерных снабженцев амфибийных судов на воздушной подушке [4].

Операция загрузки у борта может быть устранена при использовании перспективных амфибийных вездеходов на воздухоопорных гусеницах.

Операции связанные с перегрузкой и преодолением береговой черты, наиболее трудоемкие, а операция подхода и отхода от берега еще и опасная. Избежать их позволило бы применение амфибийных вездеходов на воздухоопорных гусеницах. Сокращение времени операции по разгрузке у места складирования связано с совершенствованием береговой перегрузочной техники и использованием интермодальных технологий.

Рассматривая пути совершенствования организации доставки грузов на необорудованный берег можно выделить два направления:

– усовершенствование существующей линейной транспортно- технологической схемы доставки грузов; создание новых типов судов линейных снабженцев и перегрузочных средств;

– изменение организации и технологии арктических снабженческих операций – создание магистрально-фидерной системы завоза грузов в арктические пункты с необорудованным берегом; создание новых типов амфибийных судов-снабжения.

Рассмотрим второе направление – создание магистрально-фидерной системы с использованием инновационного средства доставки грузов на необорудованный берег – амфибийных вездеходов на воздухоопорных гусеницах. В связи, с чем наиболее приемлемым представляется предложенное профессором Азовцевым А.И. транспортное средство на воздухоопорных гусеницах (ТСВГ). ТСВГ способно обеспечить безопасную выгрузку грузов с борта судна на расстоянии 2-5 миль от берега при волнении 3-4 балла, на чистой воде, в битом льду, на припайный или дрейфующий лед. Для перехода от судна к берегу вездеход обладает мореходностью 4 балла, проходимость в битом льду, плавностью хода на льду с торосами. Вполне безопасно сходит с припайного льда в воду или в битый лед, имеет надежный выход из воды на лед. При выходе на берег груженный вездеход преодолевает уклоны до 20°.

В сравнении с колесными и гусеничными вездеходами ТСВГ обеспечивает малое давление на грунт, что избавляет тундру от повреждения. Это очень важный экологический

фактор, так как сейчас более 15% тундры России повреждено гусеницами вездеходов.

Таким образом, появляется широкая область применения мореходных вездеходов на воздухоопорных гусеницах, как по доставке грузов и пассажиров в пункты с необорудованным берегом, так и при проведении спасательных операций во льдах [2].

Определена наиболее универсальная схема для удовлетворения нужд заказчиков транспортных услуг – схемы ТСВГ с параллельными гусеницами и площадкой с фитинговыми креплениями для универсальных 20 и 40 футовых контейнеров или кабины для перевозки пассажиров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гагарский, Э.А. Перспективные технологии доставки снабженческих грузов в районы Крайнего Севера и Дальнего Востока, обеспечивающие их выгрузку на необорудованный берег / Э.А. Гагарский, С.А. Кириченко // Бюл. трансп. информ. -2010. - №6. -С. 3-5.

2 Азовцев, А.И. Транспортные средства на воздухоопорных гусеницах / А.И. Азовцев, И.С. Карпушин // Пром. трансп. -1986. -№10. -С. 11-15.

3 Володин, А.Б. Общая экономгеографическая и геополитическая оценка морского необорудованного побережья с позиции перспектив развития экономики и безопасности России / А.Б. Володин // Бюл. трансп. информ. -2010. -№4(178). -С. 19

4 Толстякова, Н.П. Развитие системы управления северным завозом: дис. ... канд. экон. наук / Н.П. Толстякова. -М., 2002. -177 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** северный завоз, воздухоопорные гусеницы, вездеход, грузовая операция, доставка груза

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Вальков Владимир Евгеньевич, аспирант ФГБОУ ВПО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»

Карпушин Иван Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52Б, ФГБОУ ВПО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»

## **МЕТОДИКА КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРКОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ РОССИИ**

**ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации»**

**Д.О. Никитенко**

**SHORT-TERM FORECASTING METHOD OF FLEET CHANGES OF VARIOUS RUSSIAN GENERAL AVIATION AIRCRAFTS**

Saint Petersburg state university of civil aviation

D.O. Nikitenko

The article highlights the twin level input data analysis for the forecast construction using the methods of expert estimates and correlation analysis. The technique of artificial neural networks using to predict the Russian general aviation fleet changes is considered.

*Keywords: predictor, expert estimates method, correlation analysis method, artificial neural networks, regression analysis*

Приведен двухступенчатый анализ входных данных для построения прогноза, с помощью методов экспертных оценок и корреляционного анализа. Рассматривается методика применения метода искусственных нейронных сетей для прогнозирования изменения парка воздушных судов авиации общего назначения России.

В настоящий момент авиация общего назначения (АОН) широко распространена во многих странах. АОН России находится в зачаточном состоянии, она занимает 31% от всей гражданской авиации РФ, тогда как, в США эта цифра составляет 95% [1]. Вероятно, с течением времени АОН РФ наберёт популярность и влияние.

Чтобы контролировать процесс развития АОН, необходим прогноз ее развития, разработкой которого в России занимаются в инициативном порядке лишь специалисты-одиночки и небольшие группы специалистов, объединенные одной идеей.

В [2, 3] изложена идея использования экономико-географических показателей (ЭГП) России в качестве *предикторов* (прогностических параметров) развития парка воздушных судов (ВС) АОН России. Формирование выборки таких предикторов – сложная задача в силу объема и совокупности ЭГП России. Для ее решения в короткие сроки и с наименьшими потерями применен *метод экспертных оценок*. Из-за большого числа ЭГП при экспертном опросе использованы 35 групп ЭГП по направлениям, приведенных в [4, 5]. Сбор оценок экспертов проведен методом непосредственной оценки по интервальной шкале. Группы ЭГП, оказывающие наибольшее влияние на изменение парка ВС АОН, отобраны по результатам анализа оценок экспертов с применением методов математической статистики. К ним отно-

сятся: уровень жизни (вес группы 0,07, точечная оценка 7,59) и финансы (вес группы 0,06, точечная оценка 7,55). В данных группах содержится 118 ЭГП.

Чтобы определить силу статистической взаимосвязи между предикторами и значением парка ВС АОН РФ, использован метод *корреляционного анализа*. Для его применения сформирована выборка, содержащая статистические данные об изменении парка ВС АОН России иностранного производства за 7 лет, (2006-2012 гг.) приведенная в [7, 8], а также статистические данные об изменении 39-и из 118-и выбранных предикторов, приведенные в [4] (таблица 1). Данные по остальным – неполные, они исключены из выборки для повышения точности расчетов.

Необходимое условие для применения корреляционного анализа – соответствие исходных данных закону нормального распределения. Для количественной оценки степени отклонения информации от нормального распределения служит отношение показателя асимметрии к ее ошибке и отношение показателя эксцесса к его ошибке. Показатель асимметрии  $A$  и его ошибка  $m_a$  рассчитываются по формулам [8]:

$$A = \frac{\sum(x - \bar{x})^3}{n\sigma^3}; m_a = \sqrt{\frac{6}{n}}$$

Показатель эксцесса  $E$  и его ошибка  $m_e$  рассчитываются по выражениям:

$$E = \frac{\sum(x - \bar{x})^4}{n\sigma^4}; m_e = \sqrt{\frac{24}{n}} \text{ или } m_e = 2m_a.$$

Когда отношения  $A/m_a$  и  $E/m_e$  меньше 3, то асимметрия и эксцесс не имеют существенного значения и исследуемая информация подчиняется закону нормального распределения. [8] Результаты расчетов отношений  $A/m_a$ ,  $E/m_e$  приведены в таблице 1.

*Таблица 1 – Результаты расчета*

Предиктор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$A/m_a$	-0,14	-0,10	0,40	0,84	-0,38	0,74	0,36	0,60	-1,46	-0,37	-0,46	0,23	0,16	-0,76
$E/m_e$	-0,59	-0,61	-1,41	-0,15	0,39	-0,07	-0,96	-0,92	0,74	-0,57	-0,53	-0,64	-0,62	-0,01
Предиктор	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$A/m_a$	-1,33	-1,32	-0,21	-0,64	0,40	0,52	0,12	1,42	-0,08	0,61	0,72	0,03	1,24	1,21
$E/m_e$	0,38	0,12	-0,71	-0,76	-0,88	-0,44	-0,52	1,15	-0,60	0,58	-0,43	-1,29	0,49	0,34
Предиктор	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
$A/m_a$	0,23	0,03	2,49	0,96	0,47	0,25	1,00	1,16	-0,78	1,81	0,78	0,29		
$E/m_e$	-0,96	-0,48	2,93	-0,21	-0,16	-0,48	0,51	0,58	-0,27	1,41	-0,27	-0,49		

Все значения, приведенные в таблице 1, меньше 3, следовательно, исследуемая информация подчиняется закону нормального распределения.

Следуя методике, приведенной в [9], дальнейшему анализу могут быть подвергнуты только те факторные признаки (предикторы), степень тесноты связи (коэффициент корреляции) которых с результативным показателем (парком ВС АОН РФ) по модулю больше 0,5. Так как исходные данные получены на основе интервальной шкалы, целесообразно применение линейного коэффициента корреляции, предложенного К. Пирсоном [10]

$$r = \frac{\sum(x - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

Предикторы, удовлетворяющие данному условию и их коэффициенты корреляции, рассчитанные по (1) приведены в таблице 2.

*Таблица 2 – Результаты расчета коэффициентов корреляции Пирсона между факторными и результирующим показателем*

	1	2	3	6	7	8	10	11	12	13	14	17	18	21	22
40	0,99	0,99	0,68	-0,57	-0,66	-0,92	0,98	0,97	0,99	0,99	-0,9	0,98	0,74	1	-0,58
	23	24	25	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	39
40	0,99	-0,7	0,98	0,6	0,62	0,98	1	0,76	0,97	0,99	-0,99	0,74	0,81	-0,62	0,62



Также, уровень зависимости (коэффициент корреляции) между факторами (предикторами) не должен превышать по модулю 0,75 [9]. В том случае, если несколько предикторов коррелируют между собой, необходимо проанализировать коэффициенты каждой из пар. Значения коэффициентов корреляции Пирсона и номера предикторов, удовлетворяющих данному условию, приведены в таблице 3.

Факторы (предикторы), которые имеют критерий надежности по Стьюденту меньше табличного, не рекомендуется принимать в расчет. [8, 9]. Величина критерия Стьюдента рассчитывается по выражению

$$t = \frac{r}{\sigma_r}, \quad (2)$$

где  $\sigma_r$  – среднеквадратическая ошибка коэффициента корреляции

$$\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}}. \quad (3)$$

В таблице 3 приведены результаты расчетов по формулам (1)-(3), а также значения коэффициентов корреляции, удовлетворяющие приведенным выше условиям.

Если расчетное значение  $t$  по модулю [9] больше табличного приведенного в [11], то величина коэффициента корреляции является значимой.

При этом учитываются уровень доверительной вероятности  $P$  (в экономических расчетах обычно 0,05) и количество степеней свободы [8]

$$V = n - 1,$$

где  $n$  – количество измерений (в данном случае количество лет, за которые взята статистика)

Уровень доверительной вероятности принят равным 0,05. В таблице 4 приведены номера тех предикторов, которые удовлетворяют данному условию. К ним относятся: 1 (среднедушевые денежные доходы населения), 3 (покупка товаров и оплата услуг), 7 (прирост денег на руках у населения).

Таким образом, задача проверки результатов экспертного анализа и уточнения выборки предикторов изменения парка ВС АОН России выполнена успешно.

Для аппроксимации сложных зависимостей между зависимыми переменными и их предикторами используются различные методы. После выявления вида зависимости строится прогноз изменения зависимой переменной по известным значениям ее предикторов. Одним из современных методов аппроксимации является метод *искусственных нейронных сетей* (ИНС). Прежде чем применить его для краткосрочного прогнозирования изменения парка различных видов ВС АОН России был произведен анализ целесообразности его применения для решения данной задачи. Средняя ошибка аппроксимации метода ИНС составила 1,56%, тогда как метода *регрессионного анализа* 6,56%, что доказало целесообразность применения метода ИНС для решения поставленной задачи.

Для построения краткосрочного прогноза изменения парков 4-х видов ВС АОН России сформирована новая выборка предикторов с помощью метода корреляционного анализа с расширенным допуском на значение коэффициента корреляции между предикторами, не более 0,85 по модулю, приведенным в [8]. В новую выборку вошли следующие предикторы: среднедушевые денежные доходы населения, покупка товаров и оплата услуг, прирост денег на руках у населения, источники средств от приватизации государственного и муниципального имущества, исполнение бюджета Фонда обязательного медицинского страхования Российской Федерации. В качестве зависимых переменных выбраны:

- парк самолетов АОН бизнес-класса иностранного производства (NBJ);
- парк легких самолетов АОН иностранного производства (NGAA);
- парк вертолетов АОН иностранного производства с газотурбинными двигателями (NGAHGT);
- парк вертолетов АОН иностранного производства с поршневыми двигателями (NGAHP).

Выборка входных данных для построения прогноза состояла из значений зависимых переменных за период, 2006-2012 гг., и значений предикторов 2006-2015 гг. (значения периода 2013-2015 гг. – прогнозные). Результаты прогнозирования приведены в таблице 4.

*Таблица 3 – Результаты расчета*

$r$	40	$\sigma_r$	$t$
1	0,99	0,01	117,79
3	0,68	0,22	3,08
7	-0,66	0,23	-2,83

Так как реальных данных за 2013-2015 гг. еще не существует, проверить их достоверность пока не представляется возможным.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о высокой эффективности применения анализа

входных статистических данных, состоящего из двух различных методов. Метод ИНС показал высокую точность при аппроксимации сложных зависимостей между зависимыми переменными и их предикторами.

*Таблица 4 – Результаты построения краткосрочного прогноза изменения парков различных видов ВС АОН России*

	NBJ	NGAA	NGANGT	NGANP
2013	42,52	195,56	171,06	295,97
2014	45,96	232,79	196,13	336,42
2015	49	270,05	219,17	381,11

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Арасланов, С. Мал золотник, да дорог / С. Арасланов // *Авиация общего назначения*. -Харьков, 2012. -№7. -С. 4-10.
- 2 Арасланов, С. Нетуманные перспективы / С. Арасланов // *Авиация общего назначения*. -Харьков, 2010. -№7. -С. 4-19.
- 3 Арасланов, С. Перспективы и реальность / С. Арасланов, Ю. Щербак // *Авиация общего назначения*. -Харьков, 2012. -№8. -С. 6-11.
- 4 Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://gks.ru>. -04.07.2013.
- 5 Indicators [Электронный ресурс] // WorldBank.org. -Режим доступа: <http://data.worldbank.org/indicator/all>. -04.07.2013.
- 6 Письмо ФАВТ от 13 июня 2013, 14:32
- 7 Письмо ФАВТ от 6 сентября 2011, 16:22
- 8 Савицкая, Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия [Электронный ресурс] / Г.В. Савицкая. -4-е изд., перераб. и доп. -Минск, 2000. -Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/deyatelnost-predpriyatiya-2/index.htm>. -03.09.2013.
- 9 Швецов, Ю.Г. Методическое обеспечение диагностики финансовой несостоятельности предприятий [Электронный ресурс] / Ю.Г. Швецов, Т.В. Сабельфельд // *Финансовый вестн.: финансы, налоги, страхование, бухгалтер. учет*. -2009. -№5. -Режим доступа: <http://www.1-fin.ru/?id=463>. -04.09.2013.
- 10 Щербак, А.П. Математико-статистическая обработка материалов научной и методической деятельности [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студентов спец. «Физ. культура» / А.П. Щербак. -2007. -Режим доступа: <http://citoweb.yzpu.org/link1/metod/met90/node23.html>. -06.09.2013.
- 11 F-критерии, t-критерий Стьюдента. Эпидемиологический словарь [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://epidemiolog.org/epidemiologicheskij-slovar/f-kriterii-t-kriterij-styudenta>. -04.09.2013.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *предиктор, метод экспертных оценок, корреляционный анализ, искусственные нейронные сети, регрессионный анализ*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Никитенко Дмитрий Олегович, аспирант ФГБОУ ВПО «СПбГУ ГА»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *196210, г.Санкт-Петербурге, ул.Пилотов, 38, ФГБОУ ВПО «СПбГУ ГА»*

## **ВЫБОР ПУНКТОВ НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ПОРОЖНИХ И ГРУЖЕНЫХ СУДОВ**

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

**И.С. Дерябина**

**CHOICE OF DESTINATIONS FOR EMPTY AND LOADED VESSELS**  
 Novosibirsk state academy of water transport  
 I.S. Deryabina

We consider the problem of assigning routes for empty and loaded vessels operating on voyage form part of the operational planning of fleet operations in the subsystem «Operational Management».

*Keywords: movement routes, simulation, dialogue mode*

Рассмотрены задачи о назначении маршрутов движения для порожних и груженых судов, работающих по рейсовой форме, в составе оперативного планирования работы флота в подсистеме «Оперативный менеджмент».

Одной из основных задач оперативного управления работой флота судоходной компании в составе подсистемы «Оперативный менеджмент» является задача о назначении маршрутов для порожних и груженых судов в зависимости от конкретной эксплуатационной ситуации с глубиной прогноза до 10 суток [1].

Интерес к этой задаче в последние годы неуклонно возрастает по причине сокращения перевозок и использования флота судоходных компаний доли линейной формы организации движения в пользу рейсовой или экспедиционной.

При линейной форме организации движения и соблюдения ритмичности работы флота и портов такая задача не возникает – её решение заложено в графике движения и обработки

флота в портах в соответствие с принятыми нормативами и реализуется через декадные и суточные планы подачи тоннажа под погрузку и отправление грузов.

В случае нарушения графика движения и обработки судов в пунктах обработки или при работе флота по рейсовой форме приходится решать задачу о назначении маршрутов следования судов и составов после завершения каждого рейса. В первом случае – до момента ввода судов в график, во втором – ежелекдно или ежесуточно в оперативном режиме.

Для решения поставленной задачи рекомендуется использовать различные методики. Основные из них следующие:

1 На базе теории исследования операций – с использованием методов оптимального планирования.

2 Эвристические методы, основанные на имитационном моделировании совокупности рейсов судов, которые задаются специалистом в процессе проведения расчетов.

Основные положения первой методики известны в отраслевой литературе [2, 3].

Во втором случае эвристические методы рассматриваются как методы решения задач, построенные на использовании правил, приемов, упрощений, обобщающих прошлый опыт решающего. Как пишет А.Тьюринг – это «игра в имитацию» – предварительное правдоподобное рассуждение, направленное на поиск решения задачи.

Эвристика – метод анализа экономических явлений и процессов принятия решений, основанных на интуиции, находчивости, аналогиях, опыте изобретательности, опирающийся на особые свойства человеческого мозга и способности человека интуитивно решать задачи, для которых формальное математическое решение не известно [4].

Блочная структура имитационного моделирования приведена на рисунке 1. Рассматривается три относительно самостоятельных и взаимосвязанных между собой блоков: подготовка исходной информации, формирование и расчет вариантов работы флота и анализ результатов расчетов.

В первом блоке предполагается подготовить постоянную и оперативную информацию для выполнения расчетов. Состав и порядок её подготовки изложены в работе [5].

Во втором блоке осуществляется имитационное моделирование по выбору маршрутов движения груженых и порожних судов.

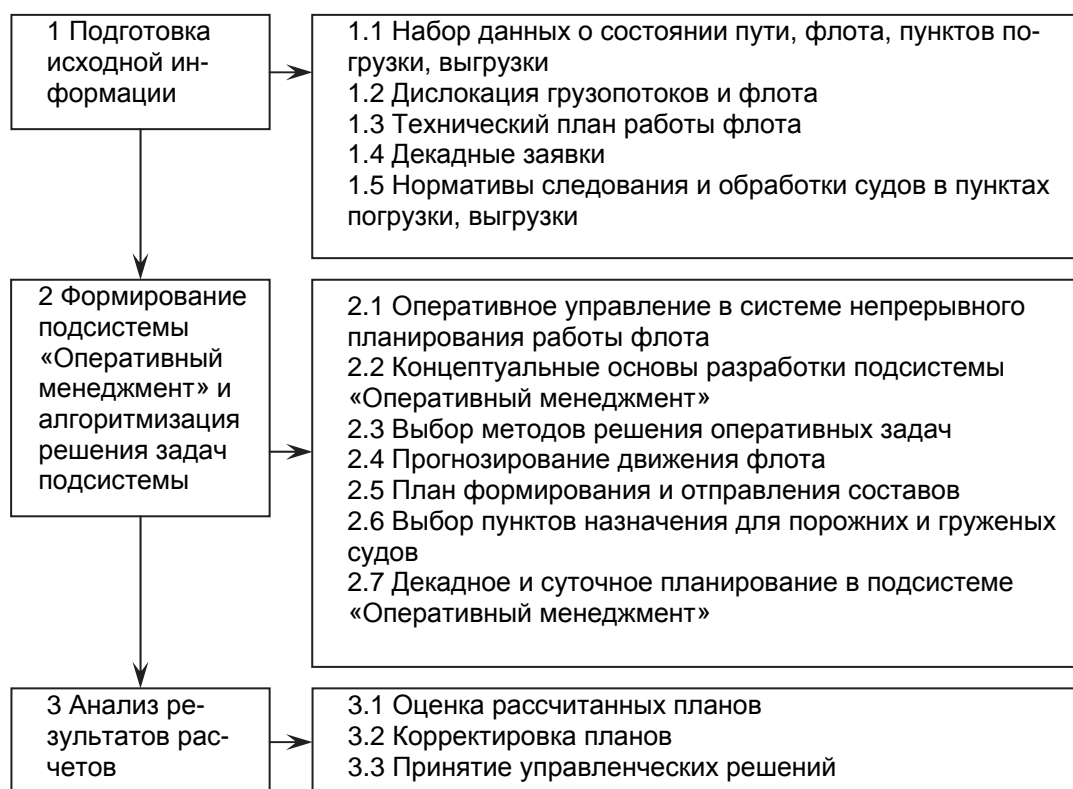


Рисунок 1 – Блочная структура имитационного моделирования

В третьем блоке выполняется анализ и оценка полученных результатов и принятия управленческих решений.

На этапе реализации имитационной модели рассматриваются различные ситуации, складывающиеся в реальной обстановке и в реальном масштабе времени в течение декады. Основные из них следующие:

- одно судно закончило выгрузку, все причалы погрузки свободны;
- несколько судов в течение суток закончили выгрузку, все причалы погрузки свободны;
- одно судно закончило выгрузку, все причалы погрузки в это время заняты;
- несколько судов в течение суток закончили выгрузку, все причалы погрузки заняты;
- одно судно закончило выгрузку, часть причалов погрузки свободны, часть заняты;
- несколько судов в течение суток закончили выгрузку, некоторые причалы погрузки свободны, некоторые заняты.

Последовательность решения задачи по каждому из вариантов различна и определяется их многообразием и относительной сложностью. Однако все они осуществляются в рамках общей модели (рисунок 2).

В качестве критериев оценки вариантов назначения порожних судов в пункты погрузки можно рекомендовать: минимум времени следования судна от пункта выгрузки до пункта погрузки  $t$ , минимум расходов по судну за время следования до пункта погрузки с учетом времени ожидания освобождения причала в пункте погрузки, когда этот причал занят  $\Theta$ , минимум потерь провозной способности судна за время следования  $Qt_{cn}$  и т.п.

Вариант ( $\varepsilon$ ) признается допустимым, для дальнейших расчетов принятия управленческого решения по критерию оценки, если

$$t = \min\{t_{ij}^x\}_\varepsilon; \Theta = \min\{C_{ij}^x t_{ij}^x + C_{ij}^{cm} t_{ij}^{cm}\}_\varepsilon \text{ или } Qt = \min\{Qt_{ij}^x\}_\varepsilon; t_{ij} = t_{ij}^x + t_{ij}^{TP} + t_{ij}^{OЖ},$$

где  $t_{ij}^x$  – время хода  $i$ -го судна до  $j$ -го причала;

$t_{ij}^{TP}$  – время технических операций в пути следования;

$t_{ij}^{OЖ}$  – время ожидания пребывающего судна в  $j$ -ом пункте обработки;

$C_{ij}^x, C_{ij}^{cm}$  – соответственно издержки по судну за время хода и время стоянок в течение порожнего рейса.

После установления критерия решения задачи рассматривается очередной вариант следования порожнего судна от причала выгрузки  $J(i, p)$  к причалу погрузки  $J(j, m)$ . При этом возможны два варианта:

- причал погрузки свободен и может принять порожнее судно;
- причал погрузки занят.

В первом случае устанавливается дата постановки порожнего судна к причалу погрузки

$$D_{npj} = t_{cnj} + t_{шс},$$

где  $t_{cnj}, t_{шс}$  – время следования порожнего судна до причала погрузки и время его швартовки у причала.

При этом необходимо выполнять следующие условия: наличие на причале достаточного количества груза для прибывающего судна  $G_{np} \geq Q_p$  и соответствие судна номенклатуре отправляемого груза. При выполнении этих условий судно направляется к причалу погрузки. Результат принятого решения фиксируется в декадном и суточном планах.

Если условия не выполняются, необходимо обращаться в дополнительный блок и рассмотреть последовательно 8-12 позиции этого блока:

- Причал  $J(j, m)$  занят, судно ожидает освобождение причала (п.10).

Необходимо установить время его освобождения в соответствии с нормативами графика движения. При этом расчетное время освобождения причала  $\Delta t_{осв_j}$  рассчитывается следующим образом

$$\Delta t_{осв_j} = \frac{\Delta Q_3}{P_{ep}} + t_{отш},$$

где  $\Delta Q_3$  – количество оставшегося в судне груза до конца его обработки, т;

$P_{ep}$  – норма обработки судна, т/ч;

$t_{отш}$  – затраты времени на отшвартовку судна и отход от причала, ч.

При этом  $t_{ож_j} = \Delta t_{осв_j} - t_{cnj}$ , а дата прибытия судна к причалу погрузки определяется по

следующей зависимости.

$$D_{пр} = \Delta t_{осв_j} \cdot$$

Расходы по судну за время освобождения причала

$$\Theta = c_x t_{сл_j} + c_{ст} t_{ож_j},$$

где  $t_{ож_j}$  – время ожидания судном освобождения причала.

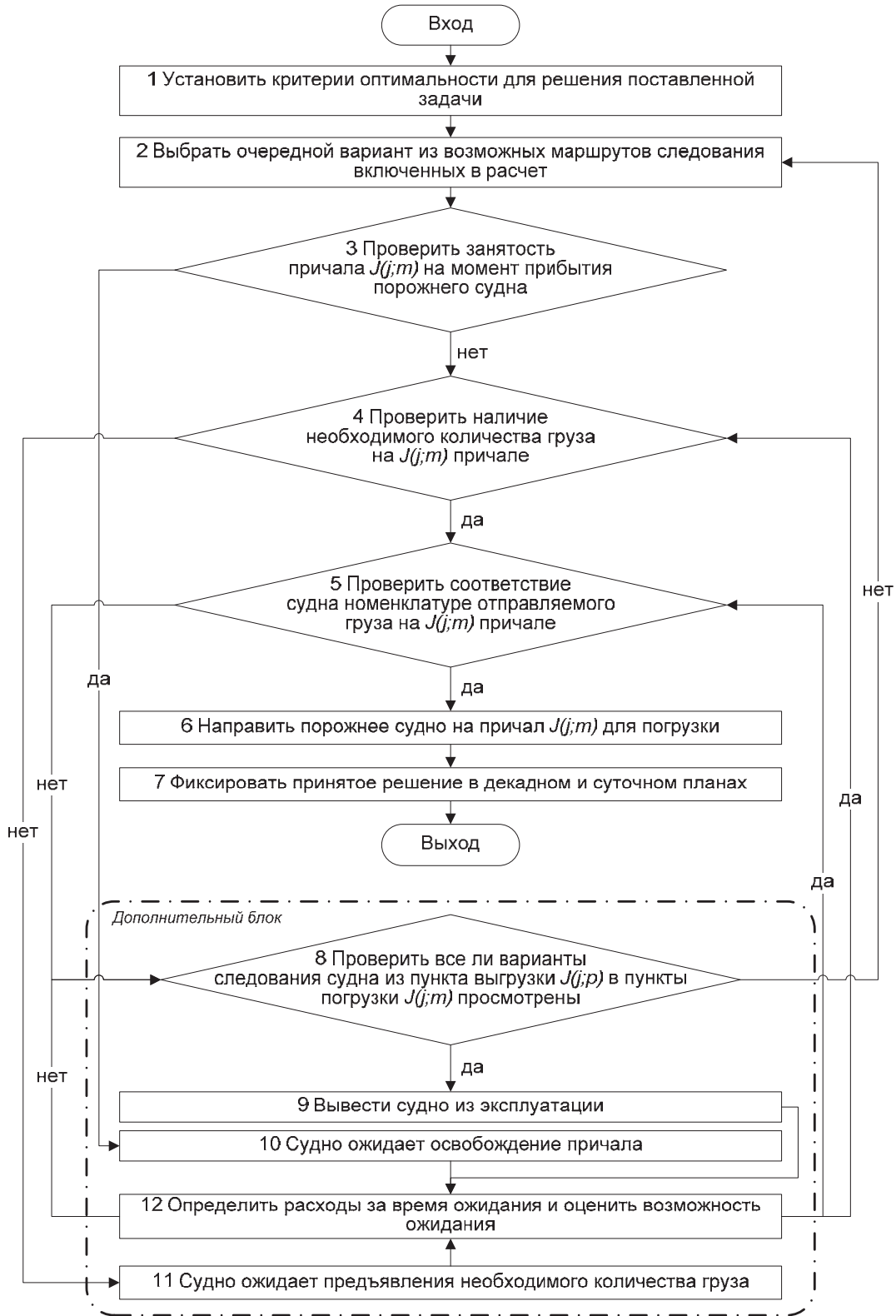


Рисунок 2 – Общая схема логической последовательности решения задачи по каждому судну и варианту

Эксплуатационные расходы по судну  $\mathcal{E}$  не должны превышать допустимых  $\mathcal{E} \leq \mathcal{E}_{доп}$ . В противном случае выполняется переход на п.4.

– На причале  $J(\bar{j}, m)$  нет или недостаточно необходимого груза для полной загрузки судна. Следует обратиться к п.11 и расчёт повторяется по алгоритму предыдущей ситуации.

– На предполагаемом причале погрузки  $J(\bar{j}, m)$  номенклатура предъявляемого груза не соответствует правилам перевозки на ожидаемом судне. Следует обратиться к п.8 дополнительного блока.

Для разработки декадных планов необходимо установить календарные даты прибытия и отправления судов по пунктам обработки. При этом дата прибытия очередного судна в пункт погрузки  $D_{прj}$  устанавливается исходя из следующей зависимости

$$D_{прj} = D_{отij} + t_{слj},$$

где  $D_{отij}$  – календарная дата отправления  $i$ -го судна из последнего пункта выгрузки;

$t_{слj}$  – время следования  $i$ -го судна до  $j$ -го пункта обработки.

Плановое время освобождения занятого причала погрузки  $D_{осvj}$  рассчитывается по формуле

$$D_{осvj} = D_{Нij} + t_{обрj},$$

где  $D_{Нij}$  – календарная дата начала грузовой обработки судна;

$t_{обрj}$  – затраты времени на обработку судна в соответствии с нормативами графика движения и обработки флота.

При этом

$$D_{осvj} - D_{прj} = t_{ожij} + t_{слj}.$$

Изложенный алгоритм имитационного моделирования в подсистеме «Оперативный менеджмент» формализован и может быть реализован на персональном компьютере в диалоговом режиме. При этом исходная информация должна быть подготовлена в виде информационных блоков, отражающих реальную ситуацию.

Выбор пунктов назначения для груженых судов, работающих по рейсовой форме, осуществляется в той же последовательности, как и для порожних судов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дерябина, И.С. Имитационное моделирование в подсистеме «Оперативный менеджмент» / И.С. Дерябина // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 95-99.
- 2 Савин, В.И. Математические методы оптимального планирования работы флота и портов / В.И. Савин. -М.: Транспорт, 1969. -168 с.
- 3 Захаров, В.Н. Разработка имитационной модели декадного планирования с использованием идей ситуационного управления / В.Н. Захаров, Ж.А. Линькова // Тр. Горьк. ин-та инженеров вод. трансп. -1979. -Вып.163. -С. 3-16.
- 4 Борисов, А.Б. Большой экономический словарь / А.В. Борисов. -М.: Книжный мир, 2002. -895 с.
- 5 Зачёсов, В.П. Технология и организация перевозок на речном транспорте: учеб. пособие для вузов / В.П. Зачёсов, В.Г. Филоненко. -Ростов н/Д.: Феникс; Новосибирск: Сиб. соглашение, 2005. -400 с. -(Высшее образование).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** маршруты движения, имитационное моделирование, диалоговый режим  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Дерябина Ирина Сергеевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГавт»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»

## **КУЗНЕЦКИЙ УГОЛЬНЫЙ БАСЕЙН: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ УГЛЯ**

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

**Р.М. Исроилов**

**KUZNETSK COAL BASIN: PROBLEMS AND PROSPECTS OF COAL TRANSPORTATION**  
Siberian state transport university  
R.M. Isroilov

Elaboration of methodical bases and variant forecast of coal transportation forming, considering different modes of transport interaction.

Keywords: transport, coal, locomotive

Выполнена разработка методических основ и вариантного прогноза формирования транспортной инфраструктуры с учетом взаимодействия различных видов транспорта.

Кузнецкий угольный бассейн является один из самых крупных угольных месторождений мира, расположен на территории Кемеровской области.

Кузбасс – один из наиболее значимых в экономическом отношении регионов России. Ведущая роль здесь принадлежит промышленному комплексу по добыче и переработке угля, железных руд и разнообразного нерудного сырья для металлургии и стройиндустрии.

В бассейне эксплуатируются 58 шахт и 36 предприятий открытой добычи (угольных разрезов).

На долю Кузбасса приходится 56% добычи каменных углей в России, около 80% от добычи всех коксующихся углей, а по целой группе марок особо ценных коксующихся углей – 100%.

В течение последних 10 лет в Кузбассе сохраняется положительная динамика добычи и отгрузки угля. По прогнозам угольных компаний региона, объем добычи угля в 2015 г. превысит 268 млн. т (рост по сравнению с 2011 г. на 41,3%).

При этом погрузка угля в восточном направлении увеличится на 37%, существенно возрастут размеры движения грузовых поездов и в западном направлении (рисунок 1 и 2).

К 2020 г. на Западно-Сибирской железной дороге практически на всех участках главного Транссибирского и Среднесибирского ходов в том, числе на железных дорогах Кемеровской области уровень использования перевозочной мощности превысит 0,8. Возникнет угроза пол исчерпания резервов пропускной способности магистрали.

В условиях роста объемов перевозок и возникающего дефицита пропускных способностей участков и станций на дороге в течение последних 10 лет был выполнен значительный объем работ по модернизации и развитию инфраструктуры, совершенствованию перевозочного процесса, внедрению инновационных технологий, позволяющих повысить провозные способности направлений за счет организации движения поездов повышенного веса и длины. За этот период было восстановлено двухпутное движение по Среднесибирскому ходу (свыше 100 км вторых путей), выполнен капитальный ремонт 1500 км пути с укладкой бесстыковых рельсовых плетей и зимний ремонт на участках общей протяженностью свыше 500 км. Введен в эксплуатацию второй мостовой переход через реку Обь на участке Омск-Алтайская. На 20 станциях удлинены более 50 приемоотправочных путей. Проведена реконструкция сортировочных станций Инская, Алтайская, Новокузнецк-Восточный, модернизированы сетевые ПТО на станциях Входная, Инская и Алтайская.

Сегодня весовые нормы для обычных грузовых поездов в Кузбасском регионе не превышают 4000 т. На шести участках в постоянной эксплуатации находятся 18 подталкивающих электровозов. Дальнейшему развитию тяжеловесного движения на Западно-Сибирской железной дороге будет способствовать насыщение локомотивного парка

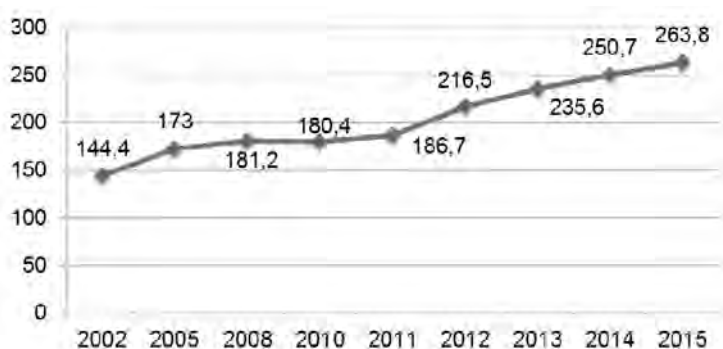


Рисунок 1 – Динамика погрузки угля в Кузбассе в 2002-2015 гг., млн. т

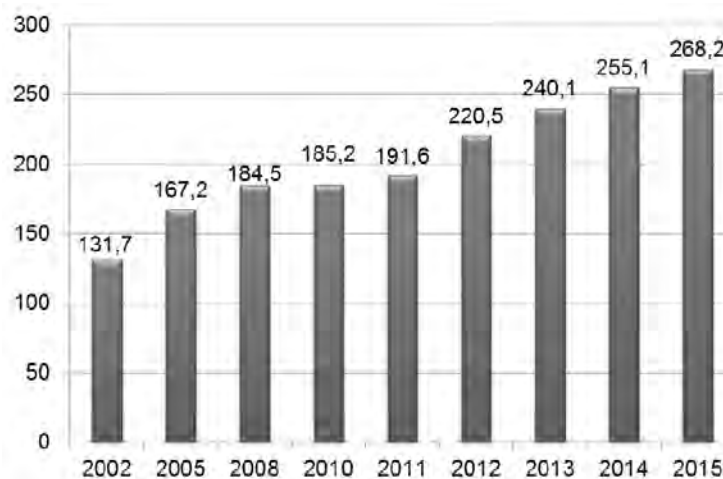


Рисунок 2 – Динамика добычи угля в Кузбассе в 2002-2015 гг., млн. т

магистрالی новыми электровозами 2ЭС4К «Дончак» (рисунок 3).

В 2011-2012 гг. было получено 65 таких локомотивов. Планируется поставка 50 электровозов 2ЭС6 «Синара». Внедрение новых локомотивов дает возможность ежедневно формировать на десяти углепогрузочных и двух сортировочных (Инская и Алтайская) станциях более 30 поездов весом по 7000 т и 12 поездов – по 9000 т с перспективой увеличения к 2015 г. количества поездов весом 7000 т в 2 раза и 9000 т – до 20 поездов в сутки.

Проведенные расчеты показывают, что для вождения на дороге планируемого количества поездов повышенного веса и длины и соединенных к 2015 г. ежедневно будет необходимо иметь в наличии более 200 грузовых локомотивов, оборудованных специальными устройствами. Для повышения веса грузовых поездов планируем заменить парк локомотивов более мощными, например 2ЭС10 (рисунок 4). Поставка новых электровозов этой серии в количестве 40 единиц позволит увеличить вес поезда на полигоне Кузбасского региона до 7000 т, высвободить 83 электровоза ВЛ10 и 148 локомотивных бригад.

Следует отметить, что сдерживающим фактором в организации вождения поездов весом 9000 т является неустойчивая работа оборудования системы управления тормозами тяжеловесных и длинносоставных поездов.



Рисунок 3 – Электровозы 2ЭС4К «Дончак»



Рисунок 4 – Электровозы 2ЭС10

ных приемоотправочных путей на станциях Входная, Алтайская, Иртышское, Артышта, Карасук, а также реконструкцию и модернизацию железнодорожного пути, устройств электрооборудования, автоматики и телемеханики.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** транспорт, уголь, локомотив  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Исроилов Рамшед Мирзоалиевич, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПНОГО РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.Ю. Абраменко

COST OPTIMIZATION ON ORGANIZATION OF CURRENT UNCOUPLING REPAIR OF FREIGHT WAGONS IN THE OPERATING WAGON DEPOT  
Siberian state transport university  
A.Yu. Abramenko



The article describes the cost structure under current uncoupling repair. Certain issues regarding cooperation between operating wagon depot of JSC «Russian Railway» and car-repair enterprise are considered. The methods of transport cost reduction under current uncoupling repair in the operating wagon depot are proposed.

*Keywords: current uncoupling repair, cost optimization, transport cost*

Приведена структура затрат при организации текущего отцепочного ремонта (ТОР). Рассмотрены некоторые вопросы взаимодействия между эксплуатационными вагонными депо ОАО «РЖД» и вагоноремонтными предприятиями. Предложены пути снижения транспортных расходов эксплуатационного вагонного депо на организацию ТОР.

В условиях разработанного Минэкономразвития РФ плана действий по сохранению финансовой устойчивости естественных монополий при нулевой индексации тарифов в 2014 году, для компании ОАО «РЖД» особенно остро встает вопрос о повышении эффективности всех видов деятельности и оперативного применения систем оптимизации затрат.

Грузооборот на Западно-Сибирской железной дороге за 6 месяцев 2013 года превысил плановые показатели всего на 1%. В силу макроэкономических обстоятельств в экономике страны существенного роста перевозок на железнодорожном транспорте не прогнозируется. Однако сокращение объемов текущего отцепочного ремонта не планируется, а наоборот, сохраняется устойчивая тенденция к росту данного показателя (рисунок 1). Резонно предположить, что рост объемов ТОР может быть связан с замедлением процесса обновления и износом основных фондов в условиях стагнирования объема перевозок и «замораживании» тарифов на перевозку грузов, а также активизации деятельности независимых операторов не попадающих под государственное регулирование.

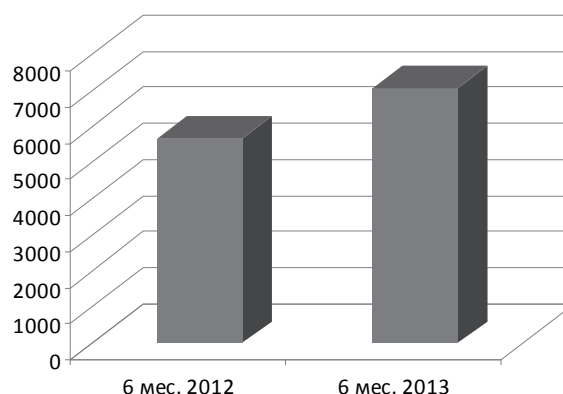


Рисунок 1 – Выпуск вагонов из ТОР за 6 месяцев 2012 г. и 6 месяцев 2013 г., шт.

За 6 месяцев 2013 года выпуск из текущего ремонта вагонного эксплуатационного депо «Инская» составил 7042 вагонов с ростом к аналогичному периоду 2012 года на 24,1%. Наибольшее количество вагонов отремонтировано собственности ОАО «ФГК» 1429 шт. или 20,3% от общего количества, ОАО «ПГК» 1375 вагон или 19,5%.

В вагонных эксплуатационных депо, как и на всем железнодорожном транспорте, вид деятельности определяется как совокупность однородных услуг или продуктов, реализуемых клиентам.

Каждый вид деятельности обусловлен совокупностью операций, которые ведут к генерации затрат в процессе оказания услуг предприятием.

Рассмотрим схему формирования затрат на текущий отцепочный ремонт для выявления путей оптимизации издержек на стадиях их возникновения (рисунок 2).

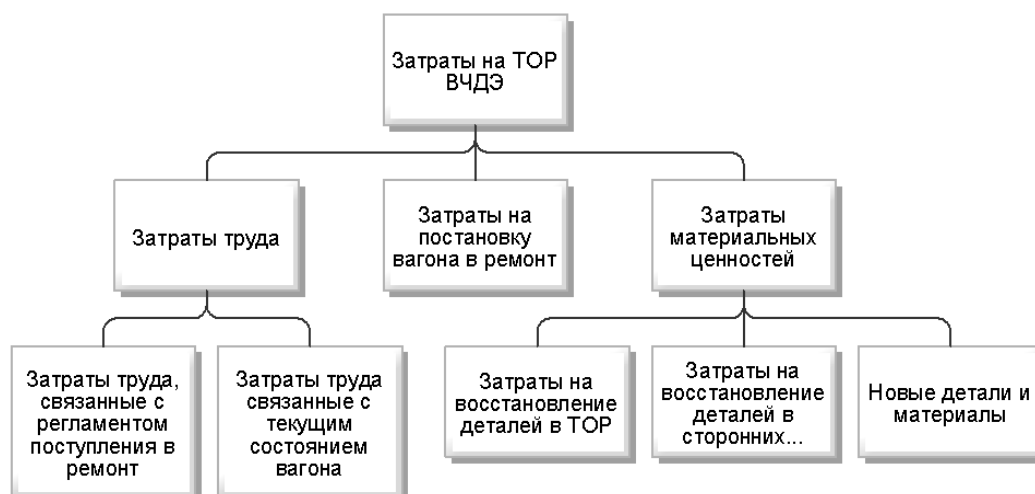


Рисунок 2 – Схема формирования затрат на организацию ТОР в эксплуатационных вагонных депо

Общая сумма затрат согласно действующей номенклатуре доходов и расходов по видам деятельности ОАО «РЖД» складывается из прямых производственных расходов, расходов, общих для всех мест возникновения затрат и видов работ, а также всех общехозяйственных расходов (включая содержание аппарата управления) вагонного хозяйства и хозяйств задействованных при выполнении текущего отцепочного ремонта (обеспечение инфраструктуры) и расходов связанных с постановкой вагона в ремонт [2, 4].

Исследования, проводимые автором в НИЛ «Экономика транспорта» СГУПС, показали, что доля статей затрат, таких как, трудовые затраты на восстановление деталей и затраты на доставку отремонтированных узлов и деталей от места ремонта до эксплуатационных вагонных депо представляют интерес с точки зрения их оптимизации. С нашей точки зрения достаточно сложно оптимизировать затраты труда и материалов в связи с тем что они обусловлены технологическим процессом, но это возможно. Например, при выполнении работ, связанных с восстановлением деталей на вспомогательных участках вагонного эксплуатационного депо, в связи увеличивающимся объемом производства более тщательно должны нормироваться затраты рабочего времени и материалов. А так же в зависимости от местных условий нормативы должны быть дифференцированными: по переходам, операциям, деталям, стадиям технологического процесса и т.п.

При этом существует объективная необходимость в дополнительном анализе целесообразности восстановления запасных частей во вспомогательных цехах депо в сравнении с приобретением новых соответствующего качества.

В тоже время, затраты на доставку номерных запасных частей и узлов (колесные пары, боковые рамы, надрессорные балки) до места ремонта и обратно могут быть оптимизированы на единицу ремонта, а учитывая эффект масштаба они суммарно являются существенными [1].

Процесс обеспечения эксплуатационных вагонных депо отремонтированными узлами и деталями зависит от целого ряда факторов (критериев). Имея на полигоне дороги ремонтные предприятия, принадлежащие все трем вновь созданным вагоноремонтным компаниям, эксплуатационное вагонное депо должно иметь возможность выбирать контрагента для определения ремонтпригодности номерных деталей и осуществления последующего ремонта.

Задача выбора контрагентов имеет многокритериальный характер. В рассматриваемом случае по нашему мнению этими критериями могут быть:

- стоимость доставки;
- вид транспорта для доставки;
- качество ремонта;
- сроки диагностики.

В дальнейшем к этим критериям добавится стоимость ремонта, так как целью создания 3-х вагоноремонтных компаний – это обеспечение конкурентной борьбы между отдельными предприятиями.

Таким образом, проблема снижения затрат на транспортировку узлов и деталей до места ремонта и обратно оказывается связанной с вопросом оптимального размещения заказов на восстановление номерных узлов для каждого эксплуатационного вагонного депо в зависимости от его территориального расположения.

Математически затраты на транспортировку деталей и узлов выразятся отношением

$$F = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{p=1}^{\ell} \sum_{k=1}^a S_{ijk}^p B_p^{\ell}$$

- где  $j$  – номер вагоноремонтного депо,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;
- $i$  – номер эксплуатационного депо,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;
- $k$  – вариант детали или узла,  $k = 1, 2, \dots, a$ ;
- $B_p^{\ell}$  – переменная, указывающая на вид транспорта, которым планируется доставка деталей и узлов до места ремонта и обратно ( $p=1$ -железнодорожный;  $p=\ell$ -автомобильный);
- $S_{ijk}^p$  – затраты на перевозку единицы  $k$ -го вида от  $i$ -го эксплуатационного депо до  $j$ -го вагоноремонтного депо.

В нашем случае задача получить минимальное значение функции, то есть свести к минимуму транспортные издержки на ремонт деталей. Данная задача решается методом ли-

нейного программирования.

Учет транспортного фактора позволит выявить рациональные транспортные связи между местами организации ТОР и осуществления ремонта и свести к минимуму транспортные расходы при организации ТОР грузовых вагонов.

Совершенствование системы учета затрат возможно только при их транспарентном учете во всех местах возникновения и разнесении в зависимости от видов деятельности вагонного эксплуатационного депо [3].

Кроме того, необходимо дополнительное исследование в области формирования затрат по прочим видам деятельности. В таблице приведена структура выпуска вагонов из ТОР и соответствующих затрат по принадлежности вагонов за 6 месяцев 2013 г.

*Таблица – Структура выпуска вагонов из ТОР и соответствующих затрат по принадлежности подвижного состава*

Доля вагонов	Вагоны собственников	Вагоны ОАО «РЖД»
В общем объеме выпуска	91,96%	8,04%
В общем объеме затрат	82,48%	17,52%

Анализ структуры выпуска вагонов из ТОР за данный период показал, что 92% составляют private вагоны и только 8% принадлежащие ОАО «РЖД», что вполне закономерно в период увеличение доли парка грузовых вагонов принадлежащего не зависимым от ОАО «РЖД» операторам и создания конкурентной среды на рынке грузовых перевозок.

Однако, при анализе структуры затрат за данный период выпуска вагонов, в процентном соотношении наблюдается не соответствие долей затрат приходящихся на ремонт собственных и private вагонов соответственно. В целях построения системы оптимизации затрат необходимо исследовать и приводить в соответствие корректное разделение затрат по объемам работ в зависимости от имущественной принадлежности подвижного состава, так как их обслуживание осуществляется на равных условиях в пределах одного бизнес процесса.

Прогнозируемый расчетный эффект от комплекса предлагаемых мер составляет чуть менее двух процентов стоимости ремонта одного вагона, однако учитывая объемы текущего отцепочного ремонта, можно говорить о значительной экономии затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Люльчев, К.М. Финансово-экономические механизмы обеспечения текущего отцепочного ремонта вагонов / К.М. Люльчев, В.А. Золотов // Экономика ж.д. -2010. -№10. -С. 22-28.
- 2 Спицина, И.Н. Управление затратами предприятия вагонного хозяйства железной дороги с помощью локальных информационных систем / И.Н. Спицина, В.А. Константинова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 96-98.
- 3 Дементьев, А.П. Проблемы учета затрат и результатов текущего отцепочного ремонта собственников грузовых вагонов с ОАО «Российские железные дороги» / А.П. Дементьев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 112-114.
- 4 Лунина, Т.А. Особенности формирования стоимости обслуживания и текущего ремонта грузовых вагонов в эксплуатационном секторе вагонного хозяйства / Т.А. Лунина // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 89-92.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *текущий отцепочный ремонт, оптимизация затрат, транспортные расходы на доставку*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Абраменко Алексей Юрьевич, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **БУХГАЛТЕРСКИЙ УЧЕТ И ОТЧЕТНОСТЬ КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДОХОДОВ И РАСХОДОВ ОРГАНИЗАЦИЙ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

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

**В.Н. Щепетова, О.В. Почекаева**

**ACCOUNTING AND REPORTING AS A QUALITY ASSESSMENT OF INCOME AND EXPENSES ORGANIZATIONS OF INLAND WATER TRANSPORT**

**Volga state academy of water transport**  
 V.N. Shchepetova, O.V. Pochekaeva

The questions assess the quality of earnings and expenses of shipping companies on the basis of the information generated in the accounting and reporting. The authors suggest indicators to assess the quality of earnings and expenses of the organizations of inland waterway transport, investigated trends and the factors to be taken into account in the analysis of their quality.

*Keywords: accounting, financial reporting, quality, analysis, revenue, expenses, water transport*

Рассмотрены вопросы оценки качества доходов и расходов судоходных компаний на основе информации, формируемой в бухгалтерском учете и отчетности. Авторами предложены показатели оценки качества доходов и расходов организаций внутреннего водного транспорта, исследованы направления и факторы, которые необходимо учитывать при проведении анализа их качества.

В настоящее время у многих участников рынка вырос интерес к судоходным компаниям, как потенциальным контрагентам различных хозяйствующих субъектов. О возможности сотрудничества с судоходными компаниями чаще всего судят на основе анализа бухгалтерской отчетности: баланса и отчета о финансовых результатах, и конечно доходов и расходов их формирующих, полученных на основе данных бухгалтерского учета.

Большинство организаций внутреннего водного транспорта для обработки бухгалтерской информации используют программу 1С: Бухгалтерия, которая позволяет сформировать интересующую информацию о наличии и движении имущества, обязательств или капитала в разрезе необходимых аналитических данных. Например, информацию о затратах на перевозку груза, формируемых на счете 20 «Основное производство», можно получить в разрезе видов флота, судов и статей затрат.

Учет и калькулирование затрат производится по форме Б-3 «Отчет о доходах и себестоимости работ в основной деятельности речного транспорта», содержащей четыре раздела:

а) доходы по видам работ и услуг. В этом разделе показываются доходы от перевозок пассажиров, сухогрузов, нефтегрузов и др. и перегрузочных работ.

б) эксплуатационные затраты и их распределение. В данном разделе приводятся плановые и фактические данные о расходах по содержанию транспортного флота (по видам), рейдового и служебно-вспомогательного флота, расходов по содержанию транспортных предприятий, управления пароходства, подразделений связи, общеэксплуатационных расходах, расходах по перегрузочным работам. Здесь же происходит распределение расходов по обслуживанию производства и управлению, подсчитывают общую сумму расходов по каждому виду флота и перегрузочным работам.

в) затраты основной деятельности по элементам. В данном разделе показывается группировка расходов по экономическому содержанию, единая для всех предприятий всех отраслей народного хозяйства.

г) финансовые результаты основной деятельности. В последнем разделе по каждому объекту калькуляции приводятся плановые и фактические данные по доходам, расходам и затратам на рубль доходов.

Организации внутреннего водного транспорта, как и все коммерческие организации, составляют бухгалтерскую (финансовую) отчетность. В соответствии с ПБУ 4/99 бухгалтерская отчетность состоит из бухгалтерского баланса, отчета о прибылях и убытках, приложений к ним (отчета об изменениях капитала, отчета о движении денежных средств) и пояснительной записки, а также аудиторского заключения, подтверждающего достоверность бухгалтерской отчетности организации, если она в соответствии с федеральными законами подлежит обязательному аудиту. Приказ МФ РФ от 02.07.2010 г. №66н «О формах бухгалтерской отчетности организаций» изменил структуру и содержание форм отчетности, начиная с отчетности за 2011 год. Также введение в действие ПБУ 23/2011 «Отчет о движении денежных средств» (утв. Приказом МФ РФ от 2 февраля 2011 г. №11н) изменило подход к отражению в отчетности операций в иностранной валюте. Необходимо отметить, что изменения, внесенные в формы бухгалтерской отчетности, направлены на сближение с требованиями МСФО и поправками в них, которые были приняты в последнее время. Информация, в отношении доходов и расходов организаций водного транспорта формируется, в основном, в отчете о финансовых результатах. В этой форме отчетности можно найти информацию о доходах и расходах от основных видах деятельности (выручка, себестоимость продаж, коммерческие и управленческие расходы), о прочих доходах и расходах.

Результаты проведенного исследования показали, что анализ доходов и затрат на грузовые перевозки организаций внутреннего водного транспорта необходимо начать с оценки качества информационной базы. Следует проанализировать первичные документы, а также информацию, содержащуюся в учетных регистрах и отчетности (оперативной, финансовой, управленческой, статистической, ведомственной). Предпочтение целесообразно отдавать первичным документам (приходные ордера, лимитно-заборные карты, акты обмера топлива, журналы учета навигационных материалов, квитанции, журнал заработной платы и др.), так

как они наиболее точно отражают реальную ситуацию, в них отсутствуют искажения, которые могут возникнуть на этапе последующей обработки при формировании учетных регистров (ведомостей аналитического учета). Информация, содержащаяся в учетных регистрах и отчетности, является результатом применяемой в ОБВТ методики обработки информации. Нельзя допустить, чтобы информация была утеряна (пропущена), при переносе данных из одного регистра в другой, так как это может оказать негативное влияние на результаты анализа и принятие решений.

Если первичные документы не «привязаны» к процессам, то экономический анализ процессов затруднен. Представляется актуальным формирование информации о доходах и затратах организаций внутреннего водного транспорта в разрезе процессов и подпроцессов, так как это позволит выявить стабильность тех или иных доходов и расходов, что, в свою очередь, позволит спрогнозировать уровень финансовых показателей на будущее.

А они зависят во многом от того, насколько доходы превышают расходы и каков их качественный состав. Следовательно, от качества доходов и расходов зависят принятые деловые решения и последствия от их реализации.

Естественно, что качество доходов и расходов судоходных компаний следует оценивать, учитывая принятые международные стандарты ISO серии 9000, которые побудили аналитиков разных областей переосмыслить имеющийся опыт с тем, чтобы на практике успешно реализовывать принципы менеджмента на основе всеобщего качества, который ориентирован на удовлетворение интересов всех заинтересованных субъектов в результатах деятельности предприятия.

Качество доходов зависит от того, к какой отрасли относится исследуемое предприятие. Как правило, предприятие развивающейся отрасли получает доходы высокого качества и предприятие, относящееся к отрасли переживающей спад, получает доходы низкого качества. На качество доходов оказывают влияние характеристики отрасли, в которой работают предприятия, например:

- капиталоемкость;
- наукоёмкость;
- трудоёмкость;
- конкуренция;
- регулирование;
- производственный цикл.

Вышеперечисленные факторы влияют на стабильность получения доходов, а, следовательно, и на их качество. Понятие качества доходов используется и при оценке достоверности доходов, при этом оцениваются следующие показатели:

- коэффициент соотношения цены и доходности показывает связь между ценой акции и доходом по ней в форме дивиденда. Чем выше это соотношение, тем привлекательнее акция для инвестора, тем выше качество доходов. И наоборот, низкое соотношение говорит о низком качестве доходов, а, следовательно, и прибыли;
- процентная ставка при предоставлении кредита (финансовые издержки будут тем выше, чем ниже качество доходов);
- доступность финансовых источников в будущем (низкое качество доходов может привести к снижению платёжеспособности предприятия);
- оценочная стоимость долгосрочных ценных бумаг. (Низкое качество доходов приводит к снижению рыночной стоимости ценных бумаг).

Оценка качества доходов и расходов должна проводиться с детализацией по их видам и их содержанию. При оценке качества расходов необходимо оценить наличие потерь от брака, бесполезных и производительных затрат и их долю в составе себестоимости продукции.

Качество доходов и расходов можно определить как обобщенную характеристику факторов, влияющих на формирование показателей доходов и расходов.

Перевозки грузов являются основным видом деятельности судоходной компании, поэтому стабильность получения доходов (расходов) от перевозок влияет на качество доходов и расходов.

Для оценки качества доходов и расходов организаций внутреннего водного транспорта (далее – ОБВТ) в целом и от грузовых перевозок в частности предлагаются следующие обобщающие показатели:

- затраты на рубль доходов;
- темпы изменения доходов;
- темпы изменения расходов;
- темпы изменения объема перевозок (или грузооборота);
- рентабельность доходов;
- рентабельность расходов.

Расчет показателей представлен в таблице 1.

*Таблица 1 – Показатели качества доходов и расходов от перевозки грузов ОВВТ*

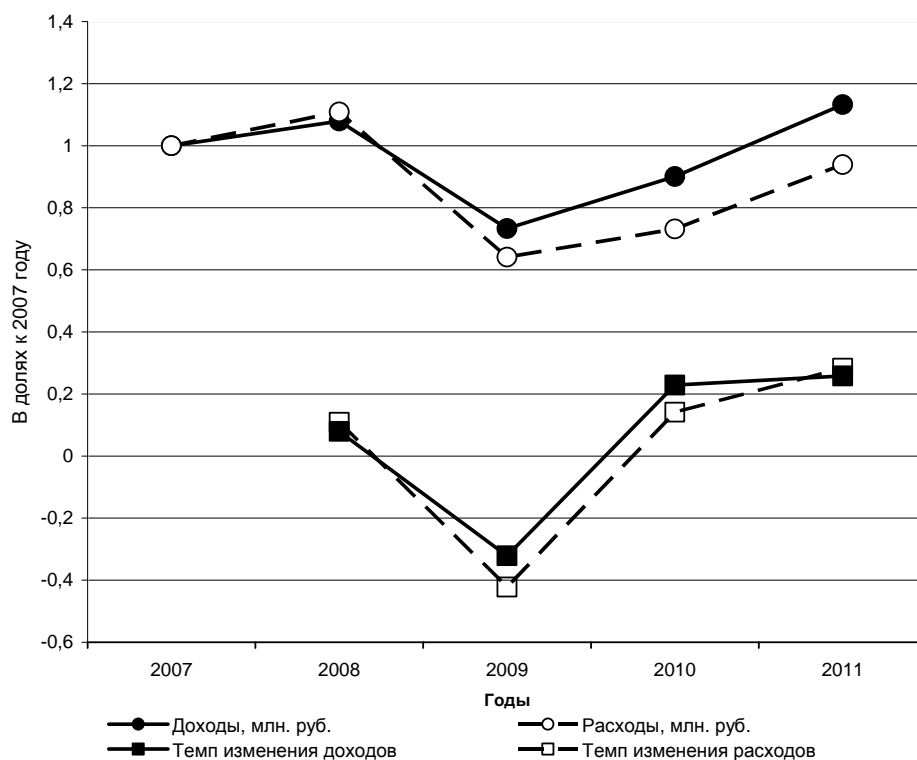
Показатели	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Показатели судоходной компании</i>					
Доходы, млн. руб.	3153	3404	2311	2839	3571
Расходы, млн. руб.	3144	3487	2016	2301	2953
Затраты на рубль доходов, коп./руб.	99,7	102,4	87,2	81,1	82,7
Прибыль/убыток от перевозок, млн. руб.	9	-83	295	538	618
Рентабельность продаж, %	0,29	-2,44	12,77	18,95	17,31
Рентабельность перевозок, %	0,29	-2,38	14,63	23,38	20,93
Темп изменения доходов, %	–	7,96	-32,11	22,85	25,78
Темп изменения расходов, %	–	10,91	-42,19	14,14	28,34
Объем перевозок, тыс. т	6840	5501	4524	5463	6721
Темп изменения объема перевозок, %	–	-19,58	-17,76	20,76	23,03
<i>Показатели отрасли [4]</i>					
Доходы, млрд. руб.	35,7	34,4	28,1	31,9	н/д
Расходы, млрд. руб.	33,0	33,0	24,7	29,3	н/д
Темп изменения доходов, %	–	-3,64	-18,31	13,52	
Темп изменения расходов, %	–	0,00	-9,27	18,62	
Объем перевозок, млн. т	153	151	97	199	223
Темп изменения объема перевозок, %	–	-1,31	-35,76	105,15	12,06

Анализ показал положительную динамику показателей деятельности судоходной компании, темпы изменения доходов и расходов от перевозок грузов превышают аналогичные показатели ОВВТ в целом по отрасли.

Темпы изменения показателей рассчитаны цепным способом и представлены на рисунке 1 и 2.

Оценка показателей качества доходов и расходов от перевозок грузов представлена в таблице 2.

Анализ показал, что в 2008 году качество доходов и расходов от грузовых перевозок ОВВТ было низким, так как критериям оценки соответствовал один показатель из шести. В 2009-2010 годах качество доходов и расходов было высоким – практически все показатели отвечали критериям оценки (11 показателей из 12). В 2011 году качество доходов и расходов от



*Рисунок 1 – Динамика показателей качества доходов и расходов судоходной компании*

грузовых перевозок снизилось, так как критериям оценки соответствуют два показателя из шести, то есть это практически уровень 2008 года.

Качество доходов и расходов влияет на качество формирования прибыли от продаж.

В [1-3, 5, 6] достаточно часто встречается понятие «качество прибыли», содержание которого чаще всего сводится к анализу факторов, влияющих на ее формирование. Как правило, выделяют экономические факторы, это доходы и себестоимость продаж, прочие расходы и такие как, производительность труда, материалоемкость, фондоемкость, рентабельность. Качество прибыли признается как высокое, если увеличивается объем выпуска продукции и снижаются операционные затраты и как низкое в случае роста цен без увеличения объемов реализации продукции, несоответствия цены и качества продукции [5]. На качество чистой прибыли оказывают влияние прочие доходы и расходы, а, следовательно, важно учесть доходность финансовых операций и оценить влияние финансовых и прочих хозяйственных операций.

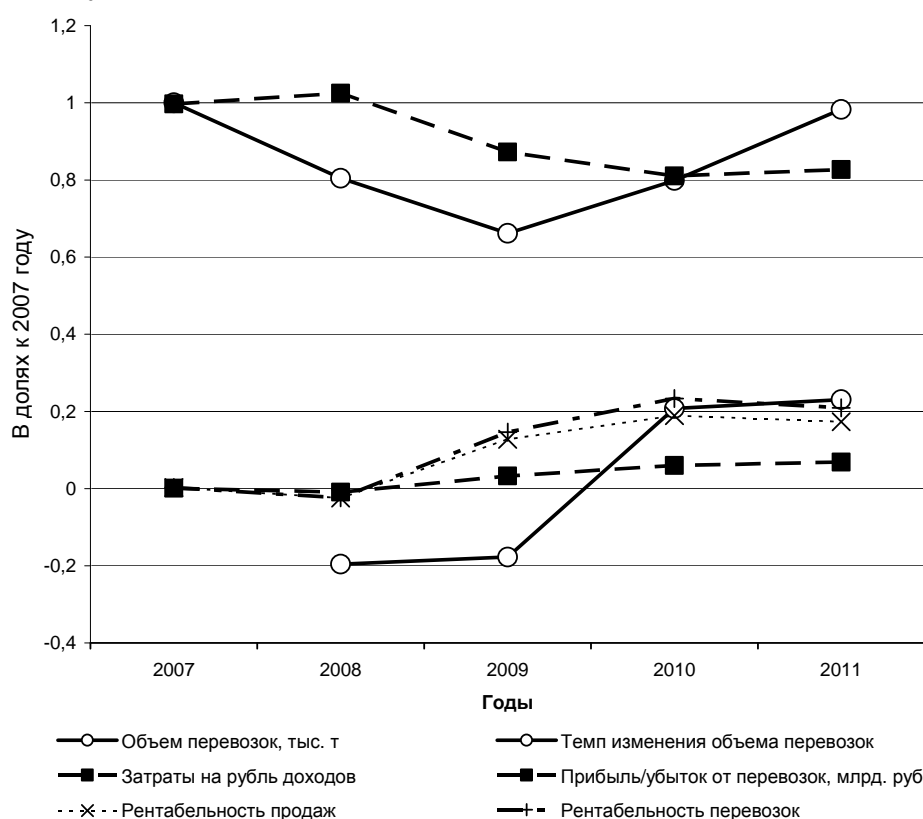


Рисунок 2 – Динамика показателей судоходной компании

Таблица 2 – Оценка качества доходов и расходов от перевозки грузов ОБВТ

Показатель	Критерий оценки	Выполнение критерия			
		2008	2009	2010	2011
Затраты на рубль доходов	динамика к снижению	нет	да	да	нет
Рентабельность доходов	динамика к увеличению	нет	да	да	нет
Рентабельность перевозок	динамика к увеличению	нет	да	да	нет
Темп изменения доходов	динамика к увеличению	да	нет	да	да
Темп изменения расходов	динамика к снижению	нет	да	нет	нет
	темпы прироста расходов не должны превышать темпы прироста объема перевозок	нет	да	да	нет
Темп изменения объема перевозок	динамика к увеличению	нет	да	да	да

На качество прибыли могут влиять и факторы, не имеющие количественного измерения [1], например, факторы, позволяющие связать уровень прибыли с качеством управления организацией.

Следует отметить, что качество текущих доходов и расходов необходимо и для прогнозирования прибыли и финансового состояния предприятия на перспективу.

Результаты анализа финансового состояния судоходных компаний очень сильно зависят от качества активов и пассивов, которые в свою очередь, зависят от доходов и расходов и сами влияют на качество доходов и расходов.

Активы – это имущество, контролируемое компанией в результате прошлых событий, от которого компания ожидает экономической выгоды (доходы) в будущем.

Пассив – это источники образования имущества, которые представлены капиталом и

обязательствами, долгосрочными и краткосрочными. Как известно, за каждый привлекаемый источник компания несет определенные расходы.

При проведении финансового анализа очень важно знать реальную стоимость отражаемых активов и реальную величину собственного капитала и обязательств судоходной компании.

По активам компании важно проанализировать их ценность. Ценность активов зависит от возможности, во-первых, приносить потенциальные доходы, а во-вторых, реализовать их на рынке за определённую сумму и за определённый промежуток времени. Известно, что общая стоимость активов состоит из стоимости внеоборотных и оборотных активов. В состав внеоборотных активов входят активы разной ценности: нематериальные активы, основные средства, незавершённое производство, долгосрочные финансовые вложения.

Достоверность, а, следовательно, качество информации приведённой в бухгалтерском балансе судоходной компании можно оценить сопоставлением показателей, приведённых в разных формах отчётности.

Например, расшифровка нематериальных активов, основных средств и доходных вложений в материальные ценности, отражённых в I разделе баланса приводится, соответственно, в разделах 1 и 2 пояснений к бухгалтерскому балансу и отчету о финансовых результатах.

Долгосрочные и краткосрочные финансовые вложения по направлениям использования показываются в I и II разделах баланса и в разделе 3 пояснений к бухгалтерскому балансу и отчету о финансовых результатах.

При оценке качества нематериальных активов следует оценить стоимость престижа компании, определив способность компании приносить доход соответствующий её торговой марке.

При оценке качества основных средств необходимо оценить:

- Наличие бездействующих и неэффективных активов.
- Возраст и техническое состояние каждой категории основных средств.
- Соответствие метода амортизации по списанию основных средств реальному их износу.
- Восстановительную стоимость и её соотношение с первоначальной стоимостью основных средств.
- Рентабельность основных средств.

Для оценки качества долгосрочных финансовых вложений необходимо оценить:

- Соотношение между рыночной и балансовой стоимостью портфеля ценных бумаг.
- Тенденции в соотношении доходов по финансовым вложениям и в рентабельности основного капитала.
- Корреляцию ценных бумаг инвестиционного портфеля.

В состав оборотных активов входят: запасы, НДС, дебиторская задолженность, краткосрочные финансовые вложения, денежные средства и их эквиваленты.

Достоверность информации, приведённой во II разделе баланса «Оборотные активы» проверяется соответствием дебиторской задолженности информации, отражённой по ней в разделе V пояснений к бухгалтерскому балансу и отчету о финансовых результатах, соответствием остатков денежных средств и их эквивалентов на начало и конец года, показанных в балансе данным отчёта о движении денежных средств.

Оценку качества товарно-материальных запасов и затрат следует начинать с выявления метода оценки запасов и соответствия его учетной политике. Затем оценивается качественный состав запасов: выявляется, нет ли залежалых товаров и испорченных материалов. Рекомендуется рассчитать и проанализировать коэффициенты оборачиваемости и периоды оборачиваемости товарно-материальных ценностей, незавершённого производства и готовой продукции.

Для оценки качества дебиторской задолженности следует оценить:

- Просроченную и безнадежную дебиторскую задолженность.
- Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности.
- Период погашения дебиторской задолженности.
- Удельный вес сомнительной дебиторской задолженности в общей сумме дебиторской задолженности.
- Коэффициент инвестиций в дебиторскую задолженность.
- Удельный вес дебиторской задолженности в общей сумме оборотных активов.



В пассиве баланса отражается величина капитала и резервов, а также обязательств организации. Достоверность информации проверяется сравнением величины уставного капитала на начало (конец) года, показанного в бухгалтерском балансе данным отчетом об изменении капитала. Долгосрочные и краткосрочные обязательства на начало и конец года показываются общей суммой в бухгалтерском балансе и даётся расшифровка в разделе V пояснений к бухгалтерскому балансу и отчету о финансовых результатах.

Аналитиками должны оцениваться полнота, реальность и достоверность экономической информации, учитываться происшедшие изменения в учетной политике и учетных оценках предприятия.

Очень важно при анализе проводить оценку качества подготовки аналитического баланса, в частности, правильно выполнить регулировки, необходимость которых вызвана некорректностью отнесения отдельных аналитических и синтетических счетов к разделам баланса, несмотря на его приближение к МСФО. Проверка качества подготовки аналитического баланса «НЕТТО» в проверке правильности выполненных регулировок.

Наиболее существенные показатели, искажающие реальную картину:

1 В составе запасов судоходной компании отражаются не только материалы, затраты в незавершенном производстве и готовая продукция, но и расходы будущих периодов. В настоящее время в составе расходов будущих периодов отражаются лицензионные платежи за использование НМА. До 2011 года в составе этих расходов отражались расходы на периодическую подписку журналов, обслуживание справочно-информационных систем, приобретение лицензий, арендная плата, страхование имущества и др. Но следует отметить, что многие судоходные компании продолжают учитывать данные расходы на счете 97, что противоречит требованиям МСФО и российского законодательства по составлению бухгалтерской отчетности, так как по своей сути это prepaid расходы. Следовательно, их необходимо убрать из состава статьи «Запасы» и включить в статью «Дебиторская задолженность», если срок задолженности не превышает одного года и в статью «Прочие внеоборотные активы», если срок погашения задолженности более одного года.

Также в составе запасов отражаются товары отгруженные: их сумму необходимо исключить из величины материально-производственных запасов и на эту же сумму следует увеличить размеры дебиторской задолженности.

2 НДС по приобретенным ценностям (19 счёт): размеры материально-производственных запасов следует увеличить на сумму НДС по приобретенным ценностям.

3 Сумма задолженности участников по вкладам в уставный капитал: если такая наблюдается, то необходимо уменьшить на сумму задолженности собственный капитал организации (уставной капитал).

5 Собственные акции, выкупленные у акционеров: если акции были выкуплены без цели перепродажи, то на их сумму необходимо уменьшить величину собственного капитала.

6 В составе доходов будущих периодов судоходных компаний, начиная с отчетности за 2011 год, отражаются суммы бюджетных средств, направленных компанией на финансирование расходов, первоначальной стоимости безвозмездно полученных основных средств, разницы между общей суммой лизинговых платежей согласно договору лизинга и стоимостью лизингового имущества. На величину указанных выше средств необходимо уменьшить сумму краткосрочных обязательств и на эту же сумму увеличить размеры собственного капитала. Суммы не использованных на конец отчетного периода остатков средств целевого бюджетного финансирования, предоставленного организации, учитываемых на счете 86 «Целевое финансирование» и отражаемых также по статье «Доходы будущих периодов», необходимо убрать из валюты баланса за счет уменьшения ликвидных средств.

7 К оценочным обязательствам судоходных компаний относятся обязательства, возникшие в связи с допущенными организацией нарушениями законодательства, влекущими наложение штрафов, с выплатой возмещения в результате судебных разбирательств, с предстоящими выплатами отпускных работникам и др. Основным видом оценочных обязательств для судоходных компаний, обусловленных сезонным характером деятельности, являются выплаты отпускных и отгулов плавсоставу.

Качество активов, обязательств и собственного капитала зачастую зависит от их сущности, содержания и наличия в них некачественных статей. Например, в активе к ним можно отнести готовую продукцию, не пользующуюся спросом, запасы, потерявшие ликвидность, в разделе «Капитал и резервы» – отражение величины уставного капитала, не внесенного учредителями.

Оценка качества бухгалтерской отчетности судоходных компаний заключается в контроле и прослеживании логических и информационных взаимосвязей показателей, отражаемых в различных статистических и бухгалтерских отчетных формах [3]. Сущность логической взаимосвязи заключается во взаимном дополнении и взаимной корреспонденции форм бухгалтерской отчетности. Информационная взаимосвязь может быть прямой и косвенной.

Прямая заключается в одновременном отражении одних и тех же показателей в нескольких формах бухгалтерской отчетности, а косвенная взаимосвязь означает, что величины показателей можно получить с помощью несложных арифметических действий. А надежность, в первую очередь, определяется устойчиво благополучным финансовым состоянием и качественным финансовым результатом компании.

Таким образом, оценка качества доходов и расходов судоходных компаний по выше раскрытым направлениям позволит как внешним, так и внутренним пользователям бухгалтерской отчетности правильно оценить ситуацию в организации, сделать прогноз на будущее и принять оптимальное управленческое решение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Анализ финансовой отчетности: учеб. пособие для студентов, обучающихся по спец. «Финансы и кредит», «Бухгалт. учет, анализ и аудит» / под ред. О.В. Ефимовой, М.В. Мельник. -2-е изд., испр. и доп. -М.: ОМЕГА-Л, 2006. -408 с.: табл. – (Высшее финансовое образование / Финансовая акад. при Правительстве РФ).
- 2 Дроздов, О.А. Система количественных показателей качества прибыли предприятия / О.А. Дроздов // Экон. анализ: теория и практика. -2010. -№17(182). -С. 22-28.
- 3 Ковалев, В.В. Учет, анализ и финансовый менеджмент / В.В. Ковалев, Вит.В. Ковалев. -М.: Финансы и статистика, 2006. -688 с.
- 4 Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://cbsd.gks.ru/>.
- 5 Финансовый анализ / под ред. Т.С. Новатиной. -М.: Моск. финансово-пром. акад., 2005. -192 с.
- 6 Шеремет, А.Д. Комплексный анализ хозяйственной деятельности / А.Д. Шеремет. -М.: ИНФРА-М, 2006. -(Высшее образование).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** бухгалтерский учет, бухгалтерская отчетность, качество, анализ, доходы, расходы, водный транспорт

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Щелетова Валентина Николаевна, канд. экон. наук, доцент ФБОУ ВПО «ВГАВТ»  
Почкаева Ольга Вадимовна, старший преподаватель ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

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

## **ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРЕННИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КЛЮЧЕВЫХ ХОЗЯЙСТВ ИНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСА КОМПАНИИ ОАО «РЖД»**

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

**А.А. Прудников**

**PERFORMANCE MEASUREMENT OF INTERNAL BUSINESS PROCESSES FOR KEY INFRASTRUCTURE ENTERPRISES IN JSC «RUSSIAN RAILWAYS»**

Siberian state transport university  
A.A. Prudnikov

The proposed methodological approach to performance measurement of internal business processes of the infrastructure complex enables to consolidate all functions of enterprises and to determine the single efficiency criterion.

*Keywords: business process, efficiency, optimization, infrastructure complex*

Предложенный методологический подход к измерению эффективности внутренних бизнес-процессов инфраструктурного комплекса позволяет консолидировать все функции хозяйств и получить единый критерий эффективности.

Железнодорожный транспорт представляет собой промежуточное звено между производством и потреблением продукции и является неотъемлемым элементом процесса распределения товаров. Участвуя в этом процессе, необходимо постоянно поддерживать высокое качество и скорость предоставляемых услуг, что требует эффективной работы всех участников перевозочного процесса.

В период существования Министерства путей сообщения, каждое хозяйство входило в состав Дорог, и показатели качества выполненных работ основывались на объеме перево-

зимых грузов и пассажиров [1]. Эффективность функционирования отдельных хозяйств определялась техническими, экономическими и финансовыми показателями [2].

В результате проводимой структурной реформы был создан холдинг «Российские железные дороги», основным продуктом которого также является перевозочный процесс. Но важным отличием от ранее существующей системы явилось создание конкурентного сектора в сфере перевозок грузов и пассажиров, а также ремонтов и технического обслуживания подвижного состава. Теперь обслуживание инфраструктуры стало одной из наиболее существенных задач компании. При этом существующая система измерения эффективности осталась без значительных изменений [3].

Объект исследования – Дирекция инфраструктуры (ДИ) это многоотраслевое подразделение, являющееся филиалом компании «Российские железные дороги». В её составе четыре хозяйства различающихся по своим производственным функциям.

Одним из основных видов деятельности дирекции инфраструктуры является текущий ремонт и обслуживание технических средств, измеряемые различными показателями (для: путевого хозяйства – 1 км пути; хозяйства электрификации и электроснабжения – 1 км контактной сети; вагонного хозяйства – 1 приведенный вагон; хозяйства автоматики и телемеханики – 1 техническая единица [2]). Таким образом, каждое хозяйство является по-своему уникальным, имеющим свою продукцию, но только в комплексе они создают конечную продукцию, то есть предоставление инфраструктуры для бесперебойного движения поездов. Для реализации данной функции необходимо регулярно выполнять мониторинг, оптимизацию и оценку эффективности существующей системы каждого элемента и в целом всего инфраструктурного комплекса.

В этих условиях задача объективного измерения эффективности инфраструктурного комплекса и его внутренних бизнес-процессов, как базовых элементов системы, приобретает первостепенное значение.

Измерение эффективности Дирекции инфраструктуры необходимо выполнять по всем внутренним бизнес-процессам, представляющим собой двойственную систему – с одной стороны, это производственные бизнес-процессы инфраструктуры железнодорожного транспорта, отвечающие за обеспечение бесперебойности движения и т.д., с другой – это ориентированные социальные и экономические бизнес-процессы.

Эффективность определяется как отношение полезного эффекта (результата) к затратам на его получение. Сопоставляя отдельные виды затрат со связанными с ними элементами полезного эффекта, мы получим множество показателей эффективности: производительность труда, производительность оборудования, коэффициент полезного действия, коэффициент использования оборудования и т.д. Показатели эффективности часто выражаются в обратной форме как отношение затрат к эффекту: себестоимость единицы продукции, расход топлива на единицу продукции и т.д. [4].

Однако все применяемые показатели эффективности отличаются неполнотой. В них недостаточно учитываются либо затраты, либо эффект, либо и то, и другое.

Для измерения эффективности внутренних бизнес-процессов предлагается использовать ресурсный подход. Для оценки использования трудовых ресурсов применять индекс производительности труда и индекс зарплатоотдачи, для материальных ресурсов – индекс материалоотдачи, для основных производственных фондов – индекс фондоотдачи и индекс амортизациоотдачи, а в целом оценить качество функционирования бизнес-процесса можно при помощи индекса вероятности отказов и событий.

Эффективность использования ресурсов измеряется традиционными показателями, однако их определение имеет существенные особенности для каждого из хозяйств объекта исследования и в целом для дирекции.

Предложена методика расчета индекса производительности труда методом трудоёмкости, позволяющая оценить не только производительность труда, но и определить вклад каждого участка. Так же возможно выявлять значительные изменения на каждом участке и в каждом структурном подразделении, для принятия оперативных управленческих решений, определить возможные резервы снижения затрат труда за счет достижения оптимального уровня трудоёмкости участка [5].

Рекомендованная методика обеспечивает несколько важных критериев для хозяйств инфраструктурного комплекса:

– сопоставимость условий и результатов работы структурного подразделения в базисном и текущем периодах;

– максимально возможное освобождение рассчитанного показателя от объективных и случайных факторов, влияющих на его величину;

– изменение производительности труда в любом структурном подразделении должно быть фактором однозначного изменения производительности труда в вышестоящем подразделении.

Оставшиеся индексы, входящие в сформированную группу показателей эффективности, в научном исследовании, предполагается рассчитывать по методикам математической статистики.

Предложенный методологический подход к расчету интегрального показателя эффективности ДИ, предлагает определять его, как среднегеометрическую частных индексов: для трудовых ресурсов применять индекс производительности труда и индекс зарплатоотдачи, для материальных ресурсов – индекс материалоотдачи, для основных производственных фондов – индекс фондоотдачи и индекс амортизациоотдачи, а в целом оценить качество функционирования бизнес-процесса можно при помощи индекса вероятности отказов и событий. Предложенный интегральный показатель эффективности инфраструктурного комплекса имеет следующий вид

$$I_{ИК} = \sqrt[n]{\left(\sum_1^n I_{ПТn} \times \delta_{ПТn}\right) \left(\sum_1^n I_{ФOn} \times \delta_{ФOn}\right) \left(\sum_1^n I_{ЗOn} \times \delta_{ЗOn}\right) \times \left(\sum_1^n I_{МOn} \times \delta_{МOn}\right) \left(\sum_1^n I_{АOn} \times \delta_{АOn}\right) \left(\sum_1^n I_{ВOCn} \times \delta_{ВOCn}\right)},$$

где  $I_{ПТn}$ ,  $I_{ФOn}$ ,  $I_{ЗOn}$ ,  $I_{МOn}$ ,  $I_{АOn}$ ,  $I_{ВOCn}$  – соответственно индекс производительности труда, индекс фондоотдачи, индекс зарплатоотдачи, индекс материалоотдачи, индекс амортизациоотдачи, индекс вероятности отказов и событий для каждого хозяйства входящего в инфраструктурный комплекс;

$\delta_{ПТn}$ ,  $\delta_{ФOn}$ ,  $\delta_{ЗOn}$ ,  $\delta_{МOn}$ ,  $\delta_{АOn}$ ,  $\delta_{ВOCn}$  – соответственно удельный вес каждого хозяйства инфраструктурного комплекса по ключевым показателям.

Значение показателя эффективности  $I_{ИК}$  можно считать нормальным, если  $I_{ИК} \geq 1$ . Чем меньше значение показателя, тем ниже уровень эффективности деятельности инфраструктурного комплекса. Важна и тенденция данного показателя. Даже при выполнении предыдущего условия необходима его положительная динамика. По результатам выполненных апробационных расчетов можно говорить о высокой эффективности деятельности Дирекции инфраструктуры, но прослеживается тенденция снижения данного показателя.

Предложенный способ позволяет объективно измерять эффективность деятельности инфраструктурного комплекса. Можно выделить несколько особенностей методологии:

– использование группы ключевых показателей позволяет выполнять комплексную оценку;

– сопоставимость условий и результатов деятельности Дирекции инфраструктуры в базисном и текущем периодах;

– максимально возможное освобождение рассчитанного показателя от объективных и случайных факторов, влияющих на его величину;

– при резком изменении показателя, возможно, оперативно определять его причины.

В связи с вышеизложенным, исследования автора по измерению эффективности внутренних бизнес-процессов являются актуальными и имеют существенное значение для совершенствования экономической деятельности инфраструктурного комплекса компании ОАО «РЖД».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лapidус, Б.М. Экономические проблемы управления железнодорожным транспортом России в период становления рыночных отношений / Б.М. Лapidус. -М.: Изд-во МГУ, 2000. -288 с.
- 2 Экономика железнодорожного транспорта для студентов экономических специальностей транспортных вузов / под ред. Н.П. Терешинной, Б.М. Лapidуса, М.Ф. Трихункова. -М.: Транспорт, 2002. -690 с.
- 3 О программе структурной реформы на железнодорожном транспорте: постановление Правительства Рос. Федерации от 18 мая 2001 г. №384 // Собр. законодательства РФ. -2001. -№23. -Ст.2366.
- 4 Лунина, Т.А. Оценка производительности труда путевого хозяйства методом трудоемкости / Т.А. Лунина, А.А. Прудников. -2-е изд. -Новосибирск: ФБОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. вод. трансп.», 2012. -57 с.
- 5 Ковалев, В.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учеб. для вузов / В.В. Ковалев. -М.: Проспект, 2008. - 421 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** бизнес-процесс, эффективность, оптимизация, инфраструктурный комплекс  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Прудников Алексей Александрович, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## **АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНА КАК ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЛОГИСТИКИ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ ОПЕРАЦИЙ**

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**О.А. Фрейдман**

**ANALYSIS OF THE REGIONAL TRANSPORT INFRASTRUCTURE POTENTIAL AS A BASIS FOR THE FUNCTIONING OF DISTRIBUTION LOGISTICS AND IMPLEMENTATION OF FOREIGN TRADE OPERATIONS**

Irkutsk state transport university

O.A. Freidman

The study of the transport potential of the area in terms of logistics due to several reasons: the definition of investment transport infrastructure optimization of the transport network of cities and regions, creating a combined urban and regional routes.

*Keywords: transport system, logistics potential, the logistics system*

Исследование транспортного потенциала территории с позиций логистики связано с несколькими причинами: определением объема инвестирования транспортной инфраструктуры; оптимизацией транспортной сети городов и районов; созданием комбинированных городских и региональных маршрутов.

Анализ транспортного потенциала, направленный на оценку мобильности и гибкости логистической системы территории предполагает включение таких направлений исследования как: анализ объемов грузопотока, проходящего через транспортную систему города; оценку динамики грузооборота на различных видах транспорта; анализ показателей аварийности в транспортной системе города. Реализация представленных направлений анализа позволяет оценить влияние транспортной системы на достижение целей региональной логистики.

Учитывая тот факт, что предложенные еще в 2003 году инвестиционные проекты по строительству транспортной логистических центров реализованы в полном объеме не были, возникла необходимость проведения повторного анализа транспортно-логистической инфраструктуры [1].

Эффективность региональной логистики оценивается через эффективность логистических процессов, а именно через процессы регионального и межрегионального распределения [2]. Исследование и анализ транспортной системы города Иркутска и Иркутской области проводился в системе объекты распределения материальных ресурсов и готовой продукции и включал: анализ состояния объектов транспортной системы; анализ величины и динамики внешнеторгового оборота; статистический анализ грузооборота по различным видам транспорта на момент времени; анализ аварийности в г. Иркутске и Иркутской области.

Исследование проводилось на основе статистических данных, информационных и аналитических отчетов, представленных в материалах прессы [3], а также данных официальных органов статистики [4].

*Анализ состояния транспортной системы.* Анализ состояния транспортной системы имеет описательный характер и затрагивает вопросы состояния транспортной инфраструктуры и эффективности грузовой работы транспортных систем города и области.

Освоенность территории транспортными магистралями можно охарактеризовать как относительно высокую [2].

С запада на юго-восток территорию Иркутской области пересекает Восточно-Сибирская железная дорога – филиал ОАО «РЖД». На территории области располагается 134 железнодорожных станции, из них 89 выполняют грузовые операции. Инвентарный парк локомотивов составляет 696 единицы, из них 513 электровозов, 183 тепловоза.

Реформы ОАО «РЖД», а также Первой и Второй грузовой компании, привела к перераспределению парка подвижного состава, активизации деятельности транспортных компаний, что повлияло на увеличение доли контейнерных перевозок.

Развитая сеть автомобильных дорог позволяет перевозить грузы автотранспортом в большинство населенных пунктов области. Протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием составляет более 12 000 км. Общая протяженность автомобильных дорог 14230 км. Таким образом, коэффициент покрытия составляет 84,33%, что выше среднего показателя по России (70,4%), однако качество покрытия на отдельных

участках муниципальных трасс оставляет желать лучшего.

По административному значению сеть автодорог Иркутской области разделяется на федеральную (994 км), и территориальную (13236 км). Автодороги федерального значения Иркутской области находятся в ведении Федерального государственного управления (ФГУ) автомобильной магистрали «Красноярск-Иркутск». Автодороги федерального и территориального значения имеют пропускную способность: федеральные – 26395 автомобилей/сутки; территориальные – 49547 автомобилей/сутки.

В условиях расширения международных связей нагрузка на областную распределительную систему возрастет, следовательно, увеличивается и эксплуатационная нагрузка на автодороги, как федерального, так и территориального значения.

В этой связи особое значение приобретает исследование системы комбинированных перевозок, причем данных об эффективности работы которых на сегодняшний день в области нет, поэтому проектирование мультимодальных перевозок ведется исходя из существующих маршрутов автодорожной и железнодорожной сети.

По территории Иркутской области протекают и являются судоходными реки: Ангара (134 км), Лена (644 км); Нижняя Тунгуска (125 км), а также акватория озера Байкал, которые обеспечивают около 10% регионального грузооборота [2].

Согласно итогам навигации 2012 года, перевалка грузов на железнодорожной станции Лена увеличилась на 16% процентов по сравнению с 2011 годом. Считается, что росту грузоперевозок способствовало укрепление партнёрских отношений между субъектами железнодорожного и внутреннего водного транспорта.

В 2012 году речным транспортом области в районы Крайнего Севера было переправлено больше угля на 167%, нефти 167%, цемента 190%, контейнеров 112% по сравнению с 2011 годом. Увеличению объема перевозок способствовал также факт роста объемов производства (добычи) указанных продуктов.

На территории Иркутской области функционируют 2 международных аэропорта федерального значения и 7 аэропортов местных воздушных линий.

Ежегодно количество авиакомпаний функционирующих в Иркутской области меняется. Если в 2009 году в Иркутске функционировали 6 авиакомпаний, то в 2012 году их было уже 16. В связи с реализацией программы по модернизации транспортной системы России до 2015 года, был переоснащен грузовой аэропорт г. Иркутска, который в настоящее время включает в себя склад прибытия площадью 1256,6 м<sup>2</sup> и пропускной способностью 300 т в сутки, склад временного хранения – 436 м<sup>2</sup>, с пропускной способностью 50 т в сутки, а также склад хранения опасных грузов.

*Анализ показателей грузооборота транспортной системы Иркутской области, как системы обеспечивающей распределение и торговый оборот.* Анализ проводилась по данным статистического отчета областной администрации за 6 месяцев 2012 года, согласно которому объем услуг крупных и средних предприятий транспорта области составил 87 млрд. руб., то есть на 12,1% по сравнению с 2011 годом.

Грузооборот предприятий транспортной сферы области составил 65,5 млрд. т·км. (101,9% к 2011 году). На увеличение объема грузоперевозок повлиял рост перевозок авиатранспортом, вследствие увеличения его грузооборота в 2,5 раза, а также рост рынка транспортных операторов в сфере городских и региональных перевозок. Можно отметить, что доля коммерческого грузооборота среди организаций автомобильного транспорта составляла около 98,6%, а объем перевозок грузов и грузооборот автомобильного транспорта на 15,3% и 15,4% соответственно относительно такого же периода 2011 года.

В регионе самым распространенным видом транспорта является автомобильный, его доля составляет 70,6% [4].

Положительная динамика развития сохраняется на ВСЖД – филиал ОАО «Российские железные дороги». В сравнении с 1 полугодием 2011 года погрузка на ВСЖД увеличилась на 2,8% и составила порядка 35,5 млн. т. Наибольшую долю в составе товарной продукции составляет промышленное сырье около 28%, контейнерные перевозки – 16%, уголь около 13%, строительные материалы около 10,9%.

*Характеристика внешнеторгового оборота Иркутской области.* Иркутск и Иркутская область является крупным импортером, в регионе потребляется большой объем товаров, как стран зарубежья, так и продукции российских регионов. По этой причине важными направлениями анализа эффективности работы транспортной системы, а также эффективности инвестиций в ее совершенствование является анализ внешнеторгового оборота и рас-

пределительной логистики региона.

Сравнительный анализ объемов внешнеторгового оборота в период 2008-2012 гг., показывает общую тенденцию к снижению объемов, при этом абсолютные значения последних лет (2011 и 2012 г.) характеризуют рост.

Объемы экспортно-импортных операций изменились с 2008 года, результаты которого существенно отразились на общей тенденции снижения объемов внешнеторговых операций. По результатам анализа этих объемов можно констатировать, что до 2012 года достичь уровня 2008 года до сих пор не удалось.

Внешнеторговый оборот Иркутской области за 9 месяцев 2012 года составил 7373,96 млн. \$ США и увеличился по сравнению с соответствующим периодом 2011 года на 15,4. Экспорт продукции Иркутской области составил 6268,9 млн. \$ США (рост на 16% к 2011 г.), а импорт – 1105 млн. \$ США (8,5% к 9 месяцам 2011 г.) [4].

В целом можно сделать заключение, что, несмотря на кризисные явления в период 2008-2011 гг., предприятия Иркутской области приблизились к докризисному объему поставок в 2012 г. и в ближайшее время внешнеторговый оборот будет увеличиваться. Этому способствуют такие факторы как: энергичное развитие международных связей и заключение контрактов экспортных поставок в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (Южная Корея, Япония, Сингапур); развитие новых международных контактов в научно-технической среде транспортных и нетранспортных ВУЗов; инвестирование международных программ на территории Иркутской области как на транзитной; строительство терминально-складских комплексов в рамках корпоративной логистики, а именно терминально-складских комплексов на базе Иркутского аэропорта и ВСЖД – филиала ОАО «РЖД».

*Анализ аварийности.* Анализ аварийности на транспорте является элементом анализа рисков потоковых процессов. С одной стороны риски характеризуют устойчивость и надежность логистических систем, издержки, связанные с возникновением рисков характеризуют уровень оптимизации потоковых процессов. С другой стороны наличие рисков в логистической системе косвенно характеризует уровень оснащенности системами контроля за состоянием транспортных, дорожных сетей, уровень их автоматизации. Анализ аварийности по всем видам транспорта в России за последние три года имеет положительную динамику. Так в 2010 году количество ДТП составляло 199431 ед., в 2011 году – 199868 ед., в 2012 году – 203597 ед. Внедрение информационных и интеллектуальных технологий в эту сферу позволит снижать количество ДТП [4].

Анализ аварийных ситуаций в г. Иркутске показывает, что с введением приборов автоматической фиксации скорости, количество аварий в 2012 году снизилось в 9 раз по сравнению с периодом 2011 года.

Кроме прочего, на снижение аварийности повлияло и строительство новых транспортных развязок в черте города. Для снижения нагрузки на автомобильную трассу города предложено создать кольцевую дорогу вокруг центра г. Иркутске, что позволило бы снизить его транспортную загруженность и увеличить поток транзитного транспорта. Однако наиболее благоприятным видится расширение дорожной сети в местах неравномерности внутригородской и внутриобластной системы распределения. Учитывая, что протяженность дорог общего пользования в Иркутской области составляет 12,6 тыс. км, а уровень обеспеченности автомобильными дорогами составляет 42% от потребности дорожной сети, то становится понятной направленность на строительство новых дорог. Поэтому было бы целесообразным разрабатывать стратегию транспортного развития региона как часть стратегии по наращиванию логистического потенциала. В противном случае, территории постоянно будут сталкиваться с недоучтенностью эффективности каких либо элементов транспортной системы в ходе управления потоковыми процессами.

Выводы:

1 Ориентируясь на расширяющиеся внешнеэкономические связи необходимо отметить, что дальнейшее увеличение объемов перевозок невозможны без строительства нового терминального комплекса и аэропорта, ориентированного исключительно на грузовую работу.

2 В сфере повышения эффективности автомобильного транспорта города и области были сделаны выводы, что эффект от строительства развязок ниже ожидаемого, так как перемещение производится по частям маршрута, а не по маршруту в целом. Поэтому наиболее эффективным было расширить дорожную сеть для перевозки грузов распределительной системе города и области в местах проявления неравномерности ее загрузки.

3 Необходима разработка, создание и пополнение информационных баз данных по

эффективности работы маршрутов по отдельным видам транспорта. Кроме того эти данные могут быть использованы для дальнейшего анализа эффективности комбинированных (мультимодальных) перевозок.

4 Актуальным остается создание совместных транспортно-логистических центров между несколькими видами транспорта (воздушным, водным, железнодорожным, автомобильным), так как опыт их взаимодействия свидетельствует о повышении пропускной способности и увеличении объемов грузооборота станций и портов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кородюк, И.С. Развитие логистической инфраструктуры в мультимодальных транспортных узлах / И.С. Кородюк // Изв. ИГЭА. -2003. -С. 69-72.
- 2 Фрейдман, О.А. Логистический менеджмент потоковых процессов в регионе / О.А. Фрейдман. -Иркутск: Изд-во ИргУПС, 2011. -137 с.
- 3 Богородов, И. Амбиции регионов на транспортно-логистическом рынке [Электронный ресурс] / И. Богородов // Континент-Сибирь: бизнес портал. -Режим доступа: [www.rutruck.ru/analytics](http://www.rutruck.ru/analytics). -07.02.2012.
- 4 Данные статистического отчета по величине грузооборота и внешнеторгового оборота Иркутской области [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://irkutskstat.gks.ru>. -25.04.2013.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *транспортная система, логистический потенциал, логистическая система*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Фрейдман Оксана Анатольевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ИргУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *664074, г.Иркутск, ул.Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИргУПС»*

## **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ В ПРИГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

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

**Е.С. Степанова**

**ANALYSIS AND EVALUATION OF THE SUBURBAN TRANSPORT OF PASSENGERS IN THE NOVOSIBIRSK REGION**  
Siberian state transport university  
E.S. Stepanova

The analysis of the competitive environment of suburban passenger transport by road and rail in the Novosibirsk region and assess passenger data.

*Keywords: suburban transport, competitiveness, automobile transport, railway transport, consumer market of transport services*

Проведен анализ конкурентной среды пригородных пассажирских перевозок автомобильным и железнодорожным транспортом в Новосибирской области и дана оценка перевозки пассажиров данным видом транспорта.

В условиях рыночной экономики создаются предпосылки для оптимального распределения перевозок между видами транспорта на основе потребительских предпочтений пользователей и особенностей услуг, предлагаемых конкурирующими транспортными предприятиями. Роль и место того или иного транспорта в системе перевозок зависят не только от его производственных мощностей, но и от уровня организации работы, качества транспортного обслуживания пассажиров [2]. При этом объективным остаётся тот факт, что спрос населения на собственно транспортные услуги почти всегда является «опосредованной» потребностью, которая служит для удовлетворения «непосредственных» потребностей. К числу первых можно отнести потребности, имеющие так называемый «первичный» характер: работу, учебу, потребности в отдыхе, лечении и некоторые другие.

Поэтому ясно, что потребителем транспортных услуг в пригородном сообщении может являться всё население региона, поскольку названные виды потребностей являются весьма распространёнными. Вместе с тем, для отдельных категорий граждан Новосибирской области, пригородные поездки являются наиболее востребованными. Этот «круг» потребителей и его изменение за последние пять лет отражено в таблице 1.

Таблица 1 составлена по данным Федеральной службы государственной статистики по Новосибирской области [4]. За период с 2008 население Новосибирской области увеличилось на 2,5%, в том числе рост экономически активного населения составил 0,9%. Удельный вес городского населения Новосибирской области имеет положительную динамику за последние пять лет и в 2013 году составил 77,9% от общей численности.

Рынок транспортных услуг по перевозке пассажиров в пригородном сообщении пред-



ставлен железнодорожным, автобусным, личным автотранспортом.

Пригородное движение, выполняемое железнодорожным транспортом, охватывает 851 км или 5 направлений. Максимальные размеры движения электропоездов в летний период составили 66 пар поездов по будням и 76 по выходным. Парк – 37 поездов. В зимнем расписании предусмотрено

55 пар электропоездов по будням и 48 по выходным. В зимний период количество поездов сокращается до 30. Подвижной состав автотранспортных предприятий Новосибирской области в количестве 654 автобуса осуществляет перевозки пассажиров на внутрирайонных маршрутах – 408 автобусов, межмуниципальных маршрутах – 102 автобуса, муниципальных (городских и внутрипоселковых) маршрутах – 144 автобуса [5].

Динамика показателей подвижного состава, участвующего в пригородных перевозках пассажиров за последние пять лет отражена в таблице 2.

*Таблица 2 – Динамика показателей подвижного состава*

Наименование показателя	2008 г.	2012 г.	2013 г.
Число автобусов общего пользования на 100 000 человек, шт	28	26	24
Число собственных легковых автомобилей на 1000 человек, шт.	230,4	260,2	268,3
Число электропоездов на 100 000 человек	1,4	1,3	1,3

Таким образом, из таблицы 2 видно, что число автобусов на 100 тыс. человек за последние пять лет снизилось на 14,2%. Число собственных автомобилей на 1000 человек увеличилось на 16,4% за последние пять лет. Число электропоездов – снизилась на 7,1%.

На величину спроса на пассажирские перевозки оказывает влияние большое количество факторов. Их можно объединить в 4 группы: факторы общественной стабильности, макроэкономические, внутриотраслевые и межтранспортные [3].

Перечисленные факторы имеют различную степень влияния на величину спроса. Для анализа и оценки размеров перевозки пассажиров в пригородном сообщении в Новосибирской области нами рассмотрены макроэкономические факторы, поскольку именно эта группа факторов определяет реальную платежеспособность населения, структуру потребительского бюджета семей с различным уровнем дохода. Изменение некоторых показателей из макроэкономической группы для жителей Новосибирской области, приведено в таблице 3 [4].

*Таблица 3 – Динамика некоторых индикаторов уровня жизни населения Новосибирской области*

Наименование показателя	2008 г.	2012 г.	2013 г. (на 01.09)
Среднедушевые денежные доходы всего населения Новосибирской области, руб.	13040,3	18244,1	21837,2
Среднемесячная начисленная заработная плата, руб.	15713,6	20308,5	24446,9
Средний размер назначенных пенсий, руб.	4461,8	8138,7	10492
Величина прожиточного минимума, в том числе:	4609	6536	7360
– трудоспособное население	4970	7070	7986
– пенсионеры	3632	5120	5707
– дети	4557	6392	7186
Прирост, уменьшение (-) денег на руках у населения по использованию денежных доходов, %	-34,2	-21,1	-5,2
Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем в год на 1 жителя, всего м <sup>2</sup> , из нее:	22,2	23,0	24,0
– городское население	21,8	22,5	23,2
– сельское население	23,4	24,5	25,1

Среднемесячная заработная плата населения Новосибирской области в 2012 г. составила 20 308,5 руб., что выше уровня 2008 г. на 29,2%. Отметим, что ежегодный рост среднемесячной заработной платы с 2010 г. в Новосибирской области составляет в среднем 4%.

Практически в 6,5 раз сократилось отрицательное значение показателя «денежные средства на руках у населения по использованию денежных доходов». Жилищные условия улучшились на 8,1%.

Таким образом, пригородные поездки являются значимыми для населения всех социальных статусов и самых различных уровней обеспеченности, и возможности для их реализации увеличиваются. Пригородным транспортом при поездках на работу и учёбу, на дачные участки, к местам массового отдыха ежемесячно пользуются 95% жителей области.

Нами проанализирован потребительский рынок пригородных железнодорожных перевозок, участниками которых явились такие категории жителей области как работающее население, федеральные льготники, региональные льготники, железнодорожники; студенты. Динамика пассажирских перевозок приведена в таблице 4.

*Таблица 4 – Отправление пассажиров в пригородном сообщении, тыс. человек*

Наименование показателя	2008 г.	2012 г.	см.3/см.2	2008 г.*	2013 г.*	см.6/см.5
1	2	3	4	5	6	7
Работающее население	19128	14153,6	74,0	10728	12163	113,4
Федеральные льготники	4289	1828,3	42,6	1472,3	1361,8	92,5
Региональные льготники, из них:	2085	1880	90,2	1692,5	1678,9	99,2
– железнодорожники	2164	1372,4	63,4	1028,9	1076,3	104,6
– студенты	1943	1567	80,6	1037,3	1212,8	116,9
Всего ж/д транспортом	29609	20801,4	70,3	15959	17492,8	109,6
Всего автотранспортом	33916	39763	117,2	25437	29822,3	117,2

\*-за 9 месяцев

Судя по данным статистического учёта, доля участия в пригородных перевозках автомобильного транспорта области составляет почти 54%, железнодорожного – 46%. За анализируемый период в пригородном железнодорожном сообщении число отправленных пассажиров снизилось по всем категориям, исключая «работающее население». Можно отметить, что по данной категории, после общего спада пассажиропотока 2009 года, связанного с кризисом и последующими экономическими трудностями, наметился стабильный прирост числа отправленных пассажиров. Такая ситуация позволяет предположить, что увеличилась категория пассажиров (потребителей транспортных услуг) с дополнительными требованиями к качеству перевозок. Но в период с 2012 года наблюдается рост отправленных пассажиров железнодорожным транспортом на 9,6%, автомобильным – на 17,2%. Пригородный железнодорожный транспорт в настоящее время располагает ускоренными электропоездами повышенной комфортности «Экспресс», отличающимися высокой маршрутной скоростью движения, комфортными условиями проезда и высоким качеством обслуживания. Продажа билетов в такие поезда осуществляется с указанием вагона и места, что соответствует установленным показателям характеристики качества.

Таким образом, размер доли железнодорожного транспорта на рынке пригородных транспортных услуг, кроме макроэкономических, зависит и от внутриотраслевых факторов [3]. Другими словами, транспортное предпочтение отдельных групп пассажиров зависит от предложения «специальных продуктов», создание которых – есть основа работы каждого вида транспорта на рынке услуг. Такой продукт, наряду с привычными характеристиками для потенциального потребителя как надёжность и регулярность движения, должен отвечать дополнительным требованиям, связанным с комфортностью, как по приобретению услуги (поездки), так и по её исполнению перевозчиком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Абрамов, А.П. Маркетинг на транспорте: учеб. для вузов / А.П. Абрамов, В.Г. Галабурда, Е.А. Иванова; под ред. В.Г. Галабурды. -М.: Желдориздат, 2001. -329 с.
- 2 Терёшина, Н.П. Управление конкурентоспособностью железнодорожных перевозок / Н.П. Терёшина, А.В. Шобанов, А.В. Рышков. -М.: ВИНТИ РАН, 2006. -240 с.
- 3 Экономика железнодорожного транспорта: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Н.П. Терёшина [и др.]; под ред. Н.П. Терёшиной, Б.М. Лапидуса, М.Ф. Трихункова. -М.: УМЦ ЖДТ, 2006.
- 4 Режим доступа: <http://novosibstat.gks.ru>.
- 5 Режим доступа: <http://mintrans.nso.ru>.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *пригородные перевозки, конкурентоспособность, автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, рынок потребителей транспортных услуг*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Степанова Евгения Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ ЭКСПЕРТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ОРГАНИЗАЦИИ**

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

**И.А. Глущенко**

**PROBLEMS OF ASSESSMENT OF COMPETENCE OF EXPERTS IN THE CALCULATION OF RISK INFORMATION SECURITY IN THE INFORMATION SYSTEM OF THE ORGANIZATION**

Irkutsk state transport university  
I.A. Glushchenko

This article describes the selection and assessment of scientific expertise and issues related to risk assessment of information security.

*Keywords: expert assessments, assessment of competence of experts, information security risk assessment*

Рассмотрены вопросы выбора и оценки компетентности экспертов, а также проблемы, связанные с оценкой рисков информационной безопасности.

Тема оценки рисков информационной безопасности в компаниях, которые уделяют достаточно внимания обеспечению информационной безопасности, поднимается достаточно часто. Однако, несмотря на то, что существующим стандартам по информационной безопасности уже не один десяток лет, до сих пор не существует одного мнения к подходам по оценке рисков. Как говорил бизнес-консультант по безопасности компании Cisco А. Лукацкий «Анализ рисков, оценка их вероятности и тяжести последствий похожа на посещение игроками Лас-Вегаса – зал общий, а система игры у каждого своя».

Ни один из существующих стандартов не дает полного представления о том, как считать вероятности риска. Опираясь на мировую статистику фактически невозможно по нескольким причинам: Во-первых, не все случаи компьютерных преступлений, несанкционированного доступа и другие неправомерные действия с информационными активами документируются и становятся достоянием общественности. Во-вторых, имеющаяся статистика очень стремительно устаревает из-за появления новых угроз. К примеру, пять лет назад никто в серьез не рассматривал угрозу BYOD (bring your own device – тенденция использовать собственные вычислительные средства (ноутбуки, планшетные компьютеры и смартфоны) при осуществлении рабочих процессов внутри организации). Однако сегодня использование собственных устройств для выполнения задач работодателя уже повсеместно распространено. Специалисты по информационной безопасности понимают, что собственные устройства пользователей контролировать практически невозможно, а изымать при входе в помещения работодателя – нереально. Отслеживание использования таких устройств очень затруднено, поэтому и статистики по использованию именно таких каналов утечки до сих пор не существует. Таким образом, оценка рисков сегодня, в большинстве случаев, отражает лишь субъективное мнение специалиста по информационной безопасности организации. Специалист, в свою очередь, опирается на мировую статистику (которая, как отмечалось выше, не полна, и не отражает реальной картины), рекомендации экспертов (которые опираются также на статистику и опыт), и на субъективное представление о распространенности и возможности реализации определенных типов угроз.

В ГОСТ Р ИСО/МЭК 13335-3-2007 декларируется: «В настоящее время нельзя говорить о правильном или неправильном методе анализа риска. Важно, чтобы организация пользовалась наиболее удобным и внушающим доверие методом, приносящем производственные результаты» [1]. Таким образом, эксперты в области защиты информации сходятся только в одном: риск можно вычислить как произведение вероятности риска на возможный ущерб, который будет нанесен организации в случае реализации угрозы. Величина ущерба определяется с помощью экспертной оценки, а вероятность можно определить либо с помощью базы инцидентов (которая, как отмечалось выше, не полна), либо также с помощью экспертной оценки.

Итак, точность полученных при оценке рисков результатов в значительной степени зависит от результатов экспертной оценки, а следовательно, от квалификации и компетентности экспертов.

Любое экспертное оценивание можно организовать за семь общих этапов [2]:

- 1 Постановка цели исследования (оценивания);
- 2 Выбор формы исследования, определение бюджета проекта;
- 3 Подготовка информационных материалов, бланков анкет, модератора процедуры;
- 4 Подбор экспертов;
- 5 Проведение экспертизы;
- 6 Статистический анализ результатов;
- 7 Подготовка отчета с результатами экспертного оценивания.

На стадии подбора экспертов одной из проблем является выбор из всех возможных альтернатив тех экспертов, чья квалификация и чьи знания наиболее ценны для проведения именно такого тематического оценивания. При длительных сериях однотипных экспертиз задача упрощается, так как хорошим критерием становится участие эксперта в предыдущих экспертизах. В случае же первичного или уникального оценивания данный критерий не подходит. Такие формальные критерии как должность, звание и уровень образования также не отражают компетентность эксперта. В [3] дается формула расчета оптимального количества экспертов

$$N = 0,5 \left( \frac{3}{\alpha} + 5 \right); \quad 0 < \alpha < 1. \quad (1)$$

Самым простым методом оценки квалификации эксперта является метод самооценки – эксперт оценивает сам себя по какой либо шкале – бальной или вербально-числовой. Однако этот метод имеет свои недостатки, одним из которых является разное понимание экспертами градаций оценочной шкалы. Обычно применяется так называемый дифференциальный метод, когда оценка дается по двум группам критериев: знакомство эксперта с объектом экспертизы и знакомство эксперта с основными источниками информации в данной области. Комплексная самооценка эксперта описывается следующей формулой

$$q_j = \frac{K_{aj} + CK_{zj}}{2}, \quad (2)$$

где  $K_{aj}$  – самооценка  $j$ -го эксперта по степени знакомства с информацией,  $0 < K_{aj} < 1$ ;

$K_{zj}$  – самооценка  $j$ -го эксперта по степени знакомства с объектом экспертизы,  $0 < K_{zj} < 1$ .

$C$  – коэффициент сравнительной весомости, обычно принимает значения 0 или 1, при этом зависит от специфики объекта экспертизы.

Возможна также взаимная оценка экспертами друг друга – на основании определенной шкалы мы получаем  $q_{ij}$ -значение оценки  $i$ -го эксперта  $j$ -тым. Совокупность таких оценок будет формировать матрицу. Далее происходит вычисление коэффициента вариации. Для распределений, близких к нормальному, он не может превышать 33%, и в случае превышения, оценки экспертов должны быть пересмотрены.

Также, косвенным свидетельством компетентности эксперта может служить сравнение коэффициентов суждений  $i$ -го эксперта

$$K_i = \frac{d_i}{d_m}, \quad (3)$$

где  $d_i$  – расстояние оценки  $i$ -го эксперта от результирующей оценки;

$d_m$  – максимальное расстояние от результирующей оценки.

Теоретически, чем ближе оценка определенного эксперта к результирующей оценке, или оценке большинства, тем эксперт более компетентен. Однако, бывали случаи, когда оценка одного эксперта, сильно отличавшаяся от результирующей, оказывалась правильной.

Еще одним эффективным способом оценки компетентности экспертов является тестовый метод. Положительным качеством данного метода можно считать возможность достаточно объективно оценить результат испытания. Тестовые методы ориентированы на выявление профессионального уровня эксперта и на определение у эксперта навыков и опыта, необходимых для работы. Для тестовых испытаний важны следующие моменты:

- Тест должен быть разработан под конкретные объекты экспертизы;
- Нужна шкала, позволяющая определять степень точности оценок эксперта. В специально разработанных шкалах вербальные (содержательные) характеристики градаций

должны соответствовать степени отклонения оценки эксперта от истинных. При необходимости могут быть указаны соответствующие количественные диапазоны значений градаций шкал;

Вероятность случайного угадывания экспертом истинной оценки в тестовом эксперименте должна быть достаточно мала. Конечно, дело упрощается, если достаточно данных о результатах участия специалиста в однотипных экспертизах. В этом случае о компетентности эксперта можно судить по отношению числа «точных» оценок, сделанных им к общему числу данных им оценок.

Как мы видим, при отсутствии статистической (исторической) информации экспертная оценка рисков информационной безопасности является единственным методом определения частоты и вероятности реализации угроз. Эксперты ранжируют вероятность наступления события исходя из своего опыта и знаний анализируемой системы.

Достоинством данного метода является простота реализации, а его недостатками возможность влияния на экспертное мнение заинтересованными лицами, невозможность применить принцип «здравого смысла» оценке случайных событий, возможный волюнтаризм экспертов. В сфере информационной безопасности также существует такая проблема, как отсутствие достаточного количества экспертов, а результаты имеют прямую зависимость от квалификации эксперта. Бальные оценки экспертов не позволяют судить о количественных соотношениях между оцениваемыми объектами. Одним из главных недостатков является психология восприятия риска – даже при наличии фактов и достаточного объема информации об анализируемой системе у экспертов существует сложность с восприятием риска. Безопасность основана не только на вероятности различных рисков и эффективности различных контрмер (реальность), но и на ощущениях. Ощущения зависят от психологических реакций на риски и контрмеры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 13335-3-2007 [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://www.altell.ru/assets/images/laws/standard/13335-3.pdf>. -21.10.2013.  
2 Орлов, А.И. Экспертные оценки: учеб. пособие / А.И. Орлов. -М., 2002.  
3 Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. -М.: Патент, 1996. -298 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *экспертные оценки, оценка компетентности экспертов, оценка рисков информационной безопасности*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Глущенко Иван Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *664074, г.Иркутск, ул.Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В СРОК ЗА СЧЕТ СОКРАЩЕНИЯ ЧИСЛА ПЕРЕРАБОТОК В ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ**

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

**Л.С. Казанцева**

**ORGANIZATION OF CARGO DELIVERY IN TIME BY REDUCING THE NUMBER OF REVISIONS EN ROUTE**  
Siberian state transport university  
L.S. Kazantseva

The article analyses the problem of cargo delivery «just in time» on the railways. The analysis of the number of rehandling of trains en route and calculating savings from their reductions.

*Keywords: cargo delivery, the plan of formation of trains, the number of rehandling of trains*

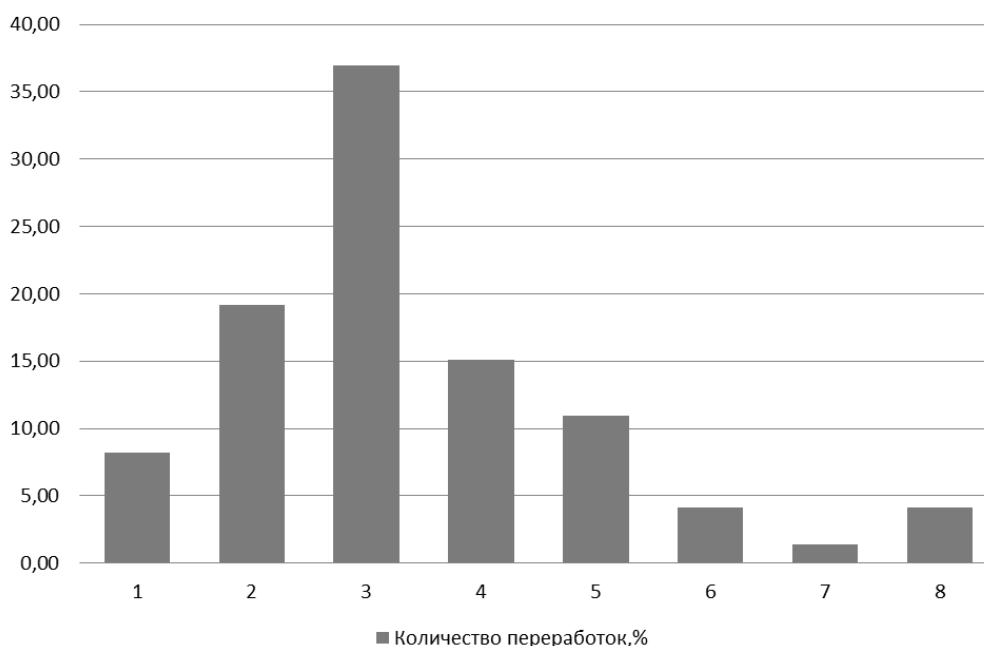
Выполнен анализ проблемы доставки грузов «точно в срок» на железнодорожном транспорте. Приводится анализ количества переработок вагонов в пути следования и расчет экономии от их сокращения.

Доставка грузов «Точно в срок» является одним из основных принципов логистики. Для реализации данного принципа предусматривается система управления распределения товаров JIT (Just in Time), обеспечивающая повышение эффективности капиталовложений, сокращение промежуточного складирования за счет резкого уменьшения производственных и товарных запасов. Система JIT позволяет вплотную подойти к реализации бесскладовой технологии движения товаров, преимуществом которой является отсутствие расходов на

складские операции.

В современных условиях на железнодорожном транспорте возникает проблема несвоевременности доставки грузов. В ряде случаев причиной невыполнения ОАО «РЖД» договорных обязательств по доставке грузов в срок является несоответствие юридического срока доставки технологическому (с учетом технологии работы железных дорог) [1]. Исходя из этого логистический принцип доставки грузов «Точно в Срок» может быть реализован путем ускорения доставки грузов, опаздывающих в пункт назначения. Выполнение срока доставки таких грузов может быть достигнуто за счет увеличения коэффициента транзитности плана формирования грузовых поездов. Одним из методов повышения транзитности вагонопотоков является включение в план формирования дополнительных одnogруппных или групповых назначений.

В ходе анализа количества переработок в пути следования различных немаршрутизированных корреспонденций вагонопотоков выявлено, что около 65% предъявленных корреспонденций имеют 3 и менее переработки в пути следования и около 35% – от 4 и более переработок. Данные анализа представлены на рисунке 1



*Рисунок 1 – Распределение процента отправок по числу переработок*

Согласно отчету ОАО «НИИАС» «Анализ организации работы с групповыми и повагонными отправлениями, имеющими свыше пяти переработок в пути следования, разработка предложений по повышению их транзитности» максимально допустимое число переработок на рейсе, при условии выполнения срока доставки грузов составляет 3-4 переработки [2].

Приведенные расчеты показывают, что необходимо рассмотреть возможность принятия специальных мер по снижению числа переработок.

Маршруты следования предъявленных корреспонденций на станциях переработки по плану формирования поездов подвергались анализу на предмет возможности сокращения числа переработок, за счет введения дополнительного одnogруппного назначения плана формирования грузовых поездов.

По рассмотренным примерам произведен расчет экономической целесообразности выделения дополнительного назначения.

Согласно «Инструктивным указаниям по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД» выделение вагонопотока  $N$  в отдельное назначение одnogруппных сквозных поездов допускается только в том случае, если выполняется необходимое условие

$$N \sum (E_{пер} - E_{тр}) \geq E_{нак} \cdot \quad (1)$$

Вагонопотоки, для которых не выполняется необходимое условие, не должны выделяться в отдельные назначения.

При наличии ближнего назначения (в том числе участковых поездов) выделение более

дальнего вагонопотока  $N_{дал}$  в самостоятельное назначение одногруппных поездов допускается лишь при соблюдении достаточного условия

$$N_{дал} \sum_{уст} (E_{пер} - E_{тр}) \geq E_{нак}, \quad (2)$$

где  $\sum_{уст} (E_{пер} - E_{тр})$  – сумма расчетной экономии от проследования вагона без переработки через попутные технические станции, расположенные между станциями ближнего  $N$  и дальнего  $N_{дал}$  вагонопотоков («на уступе»), включая станцию назначения ближнего вагонопотока  $N$ .

Если для одной струи вагонопотока затраты на накопление перекрываются экономией расходов по одной из проходимых технических станций с наименьшей расчетной экономией  $\min(E_{пер} - E_{тр})$ , эту струю всегда выгодно выделять в отдельное назначение.

Такие струи вагонопотока удовлетворяют общему достаточному условию

$$N \min(E_{пер} - E_{тр}) \geq E_{нак}. \quad (3)$$

Затраты на накопление составов поездов определяют по формуле

$$E_{нак} = c m_{ф} e_{сч}, \quad (4)$$

где  $c$  – параметр накопления, составо-ч/сут;

$m_{ф}$  – расчетный состав формируемых поездов, вагонов;

$e_{сч}$  – расходная ставка на 1 вагоно-ч грузового вагона, руб./вагоно-ч.

Расчет эффективности можно выполнить, используя следующую формулу

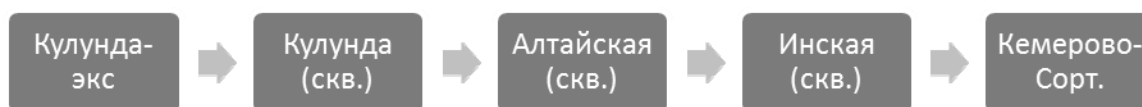
$$\mathcal{E} = N_{дал} \Delta E_{пер-тр}^{уст} - (c m_{ф} e_{сч}), \quad (5)$$

где  $N_{дал}$  – суммарная мощность вагонопотоков, выделяемых в отдельное более дальнее назначение, вагонов/сутки;

$\Delta E_{пер-тр}^{уст}$  – изменения затрат на проследование вагона через попутные технические станции, освобожденного от переработки на данных станциях, руб./вагон;

$(c m_{ф} e_{сч})$  – затраты связанные с накоплением дополнительного назначения на станции, руб.

*Пример 1.* На основе корреспонденции Кулунда (экс)-Кемерово (сорт.) предлагается на станции Алтайская формировать отдельное назначение Кемерово-Сорт., исключая переработку по станции Инская. Маршрут следования по ДПФ приведен на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Маршрут следования по ДПФ*

Мощность назначения Алтайская-Инская составляет 364 вагонов/сутки, из них 27 вагонов/сутки следует на станцию Кемерово-Сорт.

Эффективность рассматриваемого предложения рассчитывается по формуле (5)

$$\mathcal{E} = N_{Алтайская-Кемерово-Сорт.} \Delta E_{пер-тр}^{Инская} - (c m_{ф} e_{сч})^{Алтайская} = 27 \cdot 269,22 - (11,4 \cdot 65 \cdot 12,52) = -2008,38 \text{ руб./сутки.}$$

Следовательно, формирование назначения Алтайская – Кемерово (сорт.) экономически не эффективно.

*Пример 2.* На основе корреспонденции Новосибирск-Вост. – Островной предлагается на станции Инская формировать отдельное назначение Войновка, исключая переработку по станции Московка. Маршрут следования по ДПФ приведен на схеме (рисунок 3).



*Рисунок 3 – Маршрут следования по ДПФ*

Мощность назначения Инская-Московка составляет 308 вагонов/сутки, из них 110 вагонов/сутки следует на станцию Войновка.

Эффективность рассматриваемого предложения рассчитывается по формуле (5)

$$\Theta = 110 \cdot 226,65 - (11,4 \cdot 65 \cdot 12,52) = 15654,18 \text{ руб./сутки.}$$

Следовательно, формирование назначения Инская-Войновка экономически эффективно, однако необходимо так же рассчитать затраты, связанные с замедлением накопления вагонов нового назначения Инская-Войновка и вагонов существующих назначений Инская-Московка и Московка-Войновка.

Среднее время простоя вагонов под накоплением, согласно [2]

$$t_{\text{нак}} = \frac{c \cdot m}{N}. \quad (6)$$

Среднее время замедления накопления вагонов новых назначений и оставшихся, после выделения нового назначения, вагонов существующих назначений плана формирования можно рассчитать по формулам

$$T_3^{\text{н.назн.}} = t_{\text{нак}}^{\text{н.назн.}} - t_{\text{нак}}^{\text{сущ.назн.}}; \quad (7)$$

$$T_3^{\text{ост.в-в}} = t_{\text{нак}}^{\text{ост.в-в}} - t_{\text{нак}}^{\text{сущ.назн.}}, \quad (8)$$

где  $t_{\text{нак}}^{\text{н.назн.}}$  – среднее время простоя под накоплением вагонов нового назначения;

$t_{\text{нак}}^{\text{сущ.назн.}}$  – среднее время простоя под накоплением вагонов существующего назначения плана формирования;

$t_{\text{нак}}^{\text{ост.в-в}}$  – среднее время простоя под накоплением вагонов существующего назначения оставшихся после выделения нового назначения

$$t_{\text{нак}}^{\text{Инская-Московка(сущ)}} = 11,4 \cdot 65/308 = 2,41 \text{ ч;}$$

$$t_{\text{нак}}^{\text{Инская-Войновка(нов)}} = 11,4 \cdot 65/110 = 6,74 \text{ ч;}$$

$$t_{\text{нак}}^{\text{Инская-Московка(ост)}} = 11,4 \cdot 65/198 = 3,74 \text{ ч;}$$

$$T_3^{\text{н.назн.Инская}} = t_{\text{нак}}^{\text{Инская-Войновка}} - t_{\text{нак}}^{\text{Инская-Московка}} = 6,74 - 2,41 = 4,33 \text{ ч;}$$

$$T_3^{\text{ост.в-вИнская}} = t_{\text{нак}}^{\text{Инская-Московка(ост)}} - t_{\text{нак}}^{\text{Инская-Московка}} = 3,74 - 2,41 = 1,33 \text{ ч;}$$

$$t_{\text{нак}}^{\text{Московка-Войновка(сущ)}} = 11,2 \cdot 65/204 = 3,57 \text{ ч;}$$

$$t_{\text{нак}}^{\text{Московка-Войновка(ост)}} = 11,2 \cdot 65/94 = 7,74 \text{ ч;}$$

$$T_3^{\text{ост.в-вМосковка}} = t_{\text{нак}}^{\text{Московка-Войновка(ост)}} - t_{\text{нак}}^{\text{Московка-Войновка(сущ)}} = 7,74 - 3,57 = 4,17 \text{ ч.}$$

Затраты на замедление накопления вагонов новых назначений и оставшихся, после выделения нового назначения, вагонов существующих назначений плана формирования определяются зависимостью

$$E_{\text{зам}} = T_3 \cdot m \cdot e_{\text{вч}}; \quad (9)$$

$$E_{\text{зам}}^{\text{н.назн.Инская}} = 4,33 \cdot 110 \cdot 12,52 = 5953,75 \text{ руб./сутки;}$$

$$E_{\text{зам}}^{\text{ост.в-вИнская}} = 1,33 \cdot 198 \cdot 12,52 = 3297,05 \text{ руб./сутки;}$$

$$E_{\text{зам}}^{\text{Инская(общие)}} = 5953,75 + 3297,05 = 9250,77 \text{ руб./сутки;}$$

$$E_{\text{зам}}^{\text{ост.в-вМосковка}} = 4,17 \cdot 94 \cdot 12,52 = 4907,59 \text{ руб./сутки.}$$

Общая эффективность рассматриваемого предложения рассчитывается по формуле

$$\Theta_{\text{общ}} = \Theta - E_{\text{зам}}^{\text{Инская(общ)}} - E_{\text{зам}}^{\text{Московка}} = 15654,18 - 9250,77 - 4907,59 = 1495,82 \text{ руб./сутки.} \quad (10)$$

Число назначений по действующему плану формирования поездов станции Инская равняется числу сортировочных путей нечетной системы, предназначенных для формирования поездов. Следовательно, формирование нового назначения плана формирования Инская-Войновка экономически целесообразно, но технически не представляется возможным.

Из вышеприведенных примеров следует, что сокращение количества переработок вагонпотока в пути следования далеко не всегда является экономически целесообразным. В то же время для экономически выгодных маршрутов в ряде случаев не представляется возможным сократить количество переработок вследствие отсутствия резервов технических возможностей сортировочных станций. Для обеспечения доставки грузов «точно в срок» целесообразно рассмотреть возможность его исчисления с учетом технологии перевозочного процесса. Существующие информационные системы «Сеть-3» и «Корпоративная база плана формирования» позволяют на стадии приема груза к перевозке определять технологический маршрут следования и рассчитывать технологический срок доставки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Юрина, О.П. Доставка грузов в срок / О.П. Юрина, Л.С. Казанцева // Ж.-д. трансп. -2013. -№9. -С. 60-63.



2 Анализ организации работы с групповыми и повагонными отправлениями, имеющими свыше пяти переработок в пути следования, разработка предложений по повышению их транзитности: отчет о НИР / ОАО «НИИАС»; рук. А.Ф. Бородин. -2011. - 44 с.

3 Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». -М.: Техинформ, 2007. - 527 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *срок доставки грузов, план формирования поездов, число переработок вагонов*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Казанцева Лариса Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

## **УСТАНОВЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ И ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ СБОРНЫХ ПОЕЗДОВ**

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

**А.В. Дмитренко, Л.С. Казанцева**

**THE ESTABLISHMENT OF THE SPEED OF CARS AND LOCOMOTIVES OF PRECAST TRAINS**

Siberian state transport university

A.V. Dmitrenko, L.S. Kazantseva

The article analyses the movement of cars and locomotives of precast trains. A calculation of the speed of movement separately for cars and locomotives is given.

*Keywords: precast train, rate of movement, time en route of cars and locomotives*

Выполнен анализ продвижения вагонов и локомотивов в составе сборных поездов. Приводится расчет скорости движения отдельно для вагонов и локомотивов.

На экономическую деятельность железнодорожного транспорта, показатели хозяйства страны в целом значительное влияние оказывает скорость доставки грузов или время их нахождения в пути следования. Сокращение времени нахождения вагонов в пути следования позволяет значительно сокращать народнохозяйственные затраты, связанные с перевозочным процессом на железнодорожном транспорте.

В современных условиях продолжительность нахождения вагонов в технологических операциях устанавливается по времени нахождения данных категорий грузовых поездов в пути следования [1, 2]. Обычно скорость следования вагонов или локомотивов устанавливаются одинаковыми по времени их следования между пунктами формирования и расформирования составов транзитных грузовых поездов.

В оценке общего времени оборота вагонов продолжительность их нахождения в сборных поездах оценивается для условий: как в случае доставки груженых вагонов до пунктов назначения до конкретных промежуточных станций, так и для времени нахождения вагонов в поездах после выполнения грузовых операций на промежуточных станциях: после осуществления грузовых операций до момента доставки сборным поездом вагонов на конечные участковые или сортировочные станции для расформирования. При этом время нахождения сборного поезда в пути следования считается от момента его отправления с сортировочной станции до времени его прибытия на следующую участковую станцию для расформирования [1, 2].

Суммарное время нахождения сборного поезда на участке определится по формуле

$$\sum t_{уч}^{сб} = t_{пр}^{сб} - t_{от}^{сб}, \quad (1)$$

где  $t_{пр}^{сб}$  – момент прибытия сборного поезда на конечную участковую станцию;

$t_{от}^{сб}$  – время отправления сборного поезда со станции на участок.

Скорость следования сборного поезда по участку будет равна

$$t_{сб}^{уч} = \frac{l_{уч}}{\sum t_{сб}^{уч}}, \quad (2)$$

где  $l_{уч}$  – протяженность участка курсирования сборного поезда;

$\sum t_{сб}^{уч}$  – суммарное время нахождения сборного поезда на участке.

Приведенная выше формула (2) определения времени нахождения сборного поезда по участку годится для оценки качества использования локомотивов только в случае организа-

ции движения транзитного грузового поезда по участку. В этом случае вагоны следуют с локомотивом от станции формирования до пункта назначения состава транзитного грузового поезда. При этом время следования вагонов в поезде равно продолжительности нахождения локомотива в целом на всем участке. В то же время, продолжительность нахождения сборного поезда по участку в целом значительно отличается от времени нахождения вагонов для отдельных промежуточных станций в сборном поезде в случае их следования по участку.

В случае работы на участке сборный поезд имеет остановки практически на всех промежуточных станциях с грузовой работой. На каждой станции производится как отцепка, так и прицепка групп вагонов. В процессе работы на всем участке состав грузового сборного поезда полностью обновляется. На конечной станции сборный поезд не имеет вагонов, которые отправляются с начальной станции формирования сборного поезда. Дополнительная отцепка и прицепка вагонов оказывает влияние как на скорость движения, так и на общее время нахождения на участке, как для вагонов, так и для локомотивов.

Характер следования различных технических средств железнодорожного транспорта или подвижного состава по участку имеет следующий вид (рисунок 1).

Из рисунка 1 видно, что сборный поезд в процессе его следования по участку на каждой из промежуточных станций имеет остановку для отцепки и прицепки вагонов. Продолжительность стоянки равна  $t_{сб}$  и возрастает с увеличением количества отцепляемых и прицепляемых вагонов, а также зависит от схемы промежуточных станций и характера размещения на них подъездных путей. С увеличением продолжительности стоянок сборного поезда снижается его скорость движения и возрастает время нахождения сборного поезда в целом по всему участку.

Характер изменения назначений вагонов в процессе его следования по участку представлен на рисунке 2. Так, на первом перегоне участка сборный поезд состоит только из сформированных на начальной станции вагонов. В дальнейшем после прохода каждой промежуточной станции происходит отцепка и прицепка вагонов и состав сборного поезда обновляется. На последней промежуточной станции отцепляются все ранее отправленные вагоны, состав сборного поезда полностью обновляется и в таком составе прибывает на конечную станцию назначения.

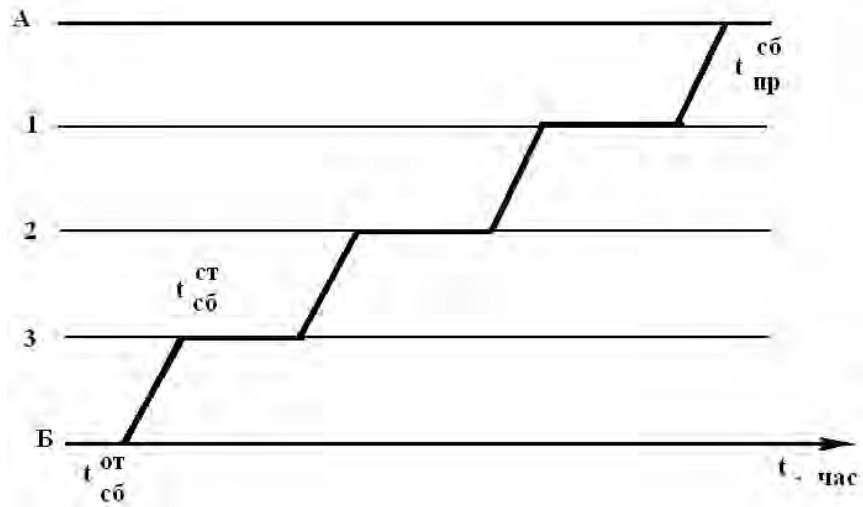


Рисунок 1 – Схема пропуска сборного поезда при трех их стоянках по участку

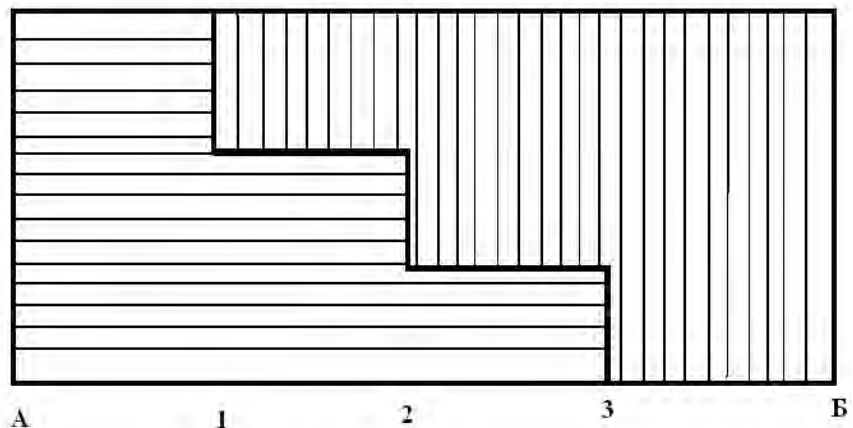


Рисунок 2 – Схема нахождения вагонов различных категорий в сборном поезде: =-вагоны со станции формирования сборного поезда; // - вагоны прицепки по участку следования сборного поезда; А, Б-начальная и конечная станции формирования и расформирования сборного поезда; 1, 2, 3-промежуточные станции с остановками сборного поезда на участке

Для локомотивов средняя скорость движения по участку может быть определена по формуле

$$V_{сб}^{лок} = \frac{l_{уч}}{\sum t_{сб}^{уч}}, \quad (3)$$

где  $l_{уч}$  – протяженность участка;

$\sum t_{сб}^{уч}$  – суммарное время хода локомотива сборного поезда по участку

$$\sum t_{сб}^{уч} = \frac{l_{уч}(t_{рз} + t_{сб}^{см})}{V_{тех}} n_{пром}; \quad (4)$$

$V_{тех}$  – техническая скорость движения состава грузового поезда на участке;

$t_{рз}$  – время на разгон и замедление состава грузового сборного поезда;

$t_{сб}^{см}$  – время стоянки сборного поезда на промежуточной станции по отцепке и прицепке вагонов.

В рассматриваемом случае число перегонов на единицу больше, по сравнению с количеством промежуточных станций, на которых обеспечивается выполнение технологических операций по отцепке и прицепке вагонов со стоянкой сборного поезда на промежуточных станциях участка.

Общее количество перегонов будет равно

$$n_{пер} = n_{пром} + 1, \quad (5)$$

где  $n_{пром}$  – число промежуточных станций на участке, на которых выполняется погрузка и выгрузка вагонов с их стоянками или с остановками на промежуточных станциях участка.

Вагоны на первую промежуточную станцию следуют без остановок в пути следования.

Время доставки вагонов до каждой промежуточной станции будет равно

$$t_{след}^{пром} = \left( \frac{l_{пер}}{V_x} + \tau_{рз} \right) n_{пром} + t_{сб}^{см} (n_{пром} - 1), \quad (6)$$

где  $l_{пер}$  – средняя протяженность перегона;

$V_x$  – ходовая скорость движения состава грузового поезда;

$\tau_{рз}$  – дополнительные потери времени, связанные с разгоном и замедлением состава грузового поезда;

$n_{пром}$  – число промежуточных станций для доставки вагонов до пунктов назначения;

$t_{сб}^{см}$  – среднее время стоянки сборного поезда на промежуточной станции.

Данные рисунка 3 и 4 показывают, что до первой остановки вагоны не задерживаются на остановках в пути следования. Вагоны могут следовать без технологических стоянок на попутных участковых станциях или промежуточных станциях.

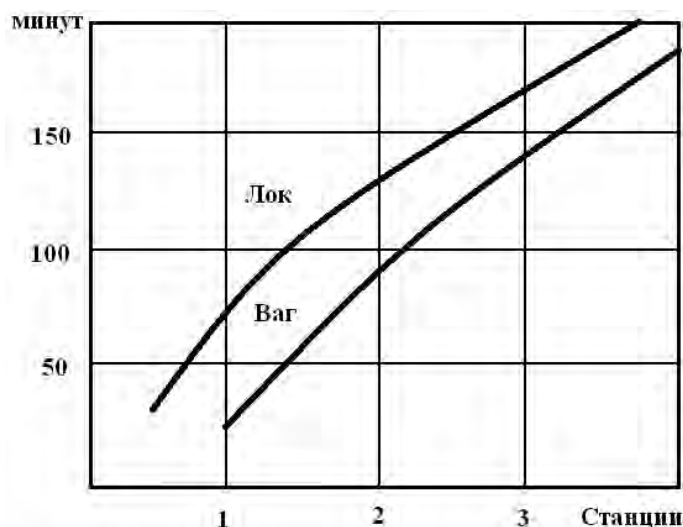


Рисунок 3 – Время следования вагонов (Ваг) и локомотивов (Лок) до пунктов назначения для рассматриваемых промежуточных станций, минут

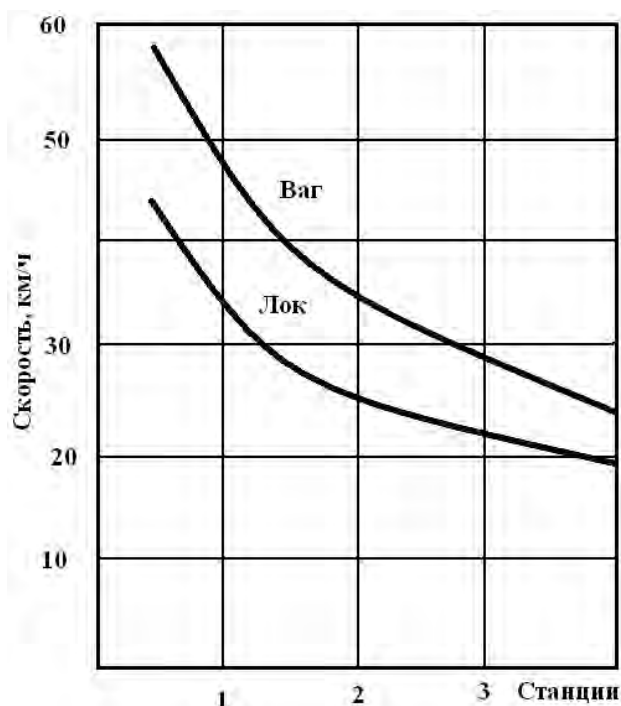


Рисунок 4 – Скорость движения технических средств подвижного состава по участку следования сборного поезда: Ваг-для вагонов; Лок-для локомотивов

Данные для примеров:  $l_{пер} = 20$  км;  $V_x = 50$  км/ч;  $t_{сб}^{см} = 30$  минут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П.С. Грунтов [и др.]. - М.: Транспорт, 1994. -544 с.  
 2 Лемешко, В.Г. О переходе на технологию организации движения грузовых поездов по расписанию / В.Г. Лемешко, В.А. Шаров // Ж.-д. трансп. -2010. -№11. -С. 12-20.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сборный поезд, скорость движения, время следования вагонов и локомотивов  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дмитренко Алексей Васильевич, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
 Казанцева Лариса Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## РЕГИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКАМИ: ОТ АДМИНИСТРАТИВНОЙ К ИНФОРМАЦИОННОЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

К.А. Кречетова

REGIONAL TRANSPORTATION CONTROL SYSTEM: FROM ADMINISTRATIV TO INFORMATIV  
 Novosibirsk state academy of water transport  
 К.А. Krechetova

Analysis of domestic and foreign experience of the management of the transport system in the region. Conditions for the establishment of an effective system of traffic management in the region.

Keywords: governments, regional transportation system, logistics

Выполнен анализ отечественного и зарубежного опыта управления транспортной системой региона. Рассмотрены условия создания эффективной системы управления перевозками в регионе.

Проблема управления транспортом актуальна уже более трех столетий. Особенное значение ей придавалось в Советском Союзе, когда сложились наиболее благоприятные условия для создания единой системы управления: государственная собственность на транспортные средства и инфраструктуру; реализация многих положений концепции Единой транспортной системы (ЕТС); богатый опыт директивного планирования в масштабе всего

народного хозяйства. Вместе с тем такой системы так и не было создано: каждая отрасль подчинялась своему министерству, а в регионах главную роль играли не руководители транспортных предприятий, а партийные комитеты. Лишь в 1992 г. было создано Министерство транспорта Российской Федерации с департаментами морского флота, речного флота и автомобильного транспорта. Однако до начала XXI в. железные дороги находились под управлением МПС России, а воздушный транспорт – в ведении Федеральной службы воздушного транспорта. В 2001 г. на базе МПС было образовано ОАО «Российские железные дороги», а все виды транспорта представлены в Минтрансе своими агентствами.

Министерство транспорта, в отличие от существовавших ранее транспортных министерств, не распоряжается собственностью транспортных предприятий и не планирует их хозяйственную деятельность, а решает возложенные на него правительством важные государственные задачи: проведение государственной политики в области воздушного, морского, речного, автомобильного, городского электрического транспорта и дорожного хозяйства, направленной на удовлетворение государственных нужд и потребностей клиентуры (предприятий, организаций, частных фирм, граждан) в перевозках; разработка совместно с Министерством экономики стратегии развития транспорта и ее реализация на основе общетранспортных и отраслевых федеральных целевых программ; разработка проектов, а также стандартов, норм и других подзаконных актов, определяющих порядок функционирования различных видов транспорта; координация взаимоотношений различных видов транспорта при смешанных перевозках.

Наряду с федеральным органом управления (Минтранс) сформированы межрегиональные органы федерального управления транспортным комплексом. На воздушном транспорте создано 17 региональных управлений с целью обеспечения безопасности всех воздушных судов, независимо от формы собственности, на подведомственной территории, регулирования перевозок, сертификации авиационных систем и специалистов. На морском транспорте в 1993 г. учреждены морские администрации портов, призванные осуществлять государственное регулирование деятельности компаний-судовладельцев, портов, ремонтных заводов и других предприятий, действующих на их территории. На внутреннем водном транспорте в 1995 г. созданы Государственные бассейновые управления водных путей и судоходства (ГБУВПиС), в том числе, на территории Западно-Сибирского (Обь-Иртышского) бассейна – Обское с центром в г. Новосибирск и Обь-Иртышское (г. Омск). Их задача – координация перевозок различными судовладельцами, обеспечение безопасности судоходства, охрана окружающей среды, содержание внутренних водных путей на территории нескольких административных районов. В 2013 г. ГБУВПиС преобразованы в Администрации бассейнов водных путей.

На автомобильном транспорте осуществление функций государственного регулирования делегируется региональным органам управления транспортом, создаваемым администрациями.

На железнодорожном транспорте в основном сохранена вертикальная структура управления: ОАО «РЖД» – дорога (филиал ОАО «РЖД») — отделения дорог со структурными единицами, то есть линейными предприятиями (локомотивными и вагонными депо, станциями, дистанциями, участками и др.).

На региональном уровне, во всех субъектах Федерации, в составе администраций функционируют транспортные министерства (департаменты), которые также, как и Минтранс, занимается управлением грузовыми перевозками в самом общем виде на стратегическом уровне. Таким образом, проблема управления грузовыми перевозками на уровне региона по-прежнему существует, а в новых социально-экономических условиях приобрела особенную актуальность. А для рассматриваемого нами региона в границах Обь-Иртышского речного бассейна она сталкивается с дополнительными сложностями.

Как справедливо указывает О.В. Гончарук [1], транспортный комплекс является, с одной стороны, самостоятельной отраслью материального производства, а с другой – функционально обеспечивающей общественное производство. Таким образом, существует взаимозависимость развития транспорта и народного хозяйства, а также настоятельная необходимость формирования системы управления транспортным комплексом на федеральном и региональном уровнях.

Изучение мирового опыта показывает, что система управления транспортом региона может включать в себя:

– органы администрации субъекта Федерации (министерства, департаменты, комитета

транспорта);

– региональные органы Минтранса (администрации портов; администрации бассейнов водных путей; управления воздушного транспорта);

– региональные отделения «Ространснадзора», Государственной инспекции по безопасности дорожного движения (ГИБДД) и другие надзорные и контролирующие органы;

– неадминистративные хозяйственно-финансовые органы и предприятия, осуществляющие от имени транспортной администрации функции финансовой и материально-технической поддержки транспортной системы региона (служба единого заказчика транспортных услуг, специализированные производственные ассоциации, фонды, транспортные банки, консорциумы);

– координационные органы (советы по транспорту, рабочие группы и комиссии) и общественные организации (Транспортный союз, Ассоциация судовладельцев, Ассоциация портов и т. п.).

Однако, если объединение данных структур на региональном уровне, как предлагается в [1, 2], если и возможно, то вряд ли продуктивно. В переходный период, характеризующийся отказом от плано-административной системы управления, перед формирующейся системой стоят заведомо противоречивые, а потому почти невыполнимые цели, и, прежде всего: совместить порой излишне масштабно и поспешно претворяемую в жизнь рыночную свободу с необходимостью действовать в рамках жестких ограничений.

Следует отметить, что такое диалектическое противоречие присуще управлению вообще как системообразующему процессу ограничения разнообразия системы, сведению его к норме [3] – в соответствии с принципом необходимого разнообразия (степень разнообразия объекта не должна превосходить степень разнообразия субъекта управления). С другой стороны, любой объект может существовать, только развиваясь. А суть развития не в ограничении возможных его путей, а в возможности выбора вариантов. При таком понимании управления и развития они противостоят друг другу. В иерархических централизованных системах иначе и быть не может. Плано-административная система (ПАС), в том числе и на транспорте, управляла, то есть ограничивала варианты движения, опираясь на всю мощь административного, а в иные годы и военно-политического и репрессивного воздействия.

В то же время сама ПАС, кроме целей функционирования, ставила и цели развития – однако, в рамках тех же «ограничительных» вариантов. Это во многом предопределило и поступательное развитие экономики на базе мобилизации всех ресурсов страны при дефиците товаров и низком уровне жизни населения, и провал попыток реформирования экономики («косыгинская реформа»), и, в конце концов, крах социалистической системы хозяйствования. Во-вторых, в определенные периоды и в определенных сферах возникали «очаги развития» как результат действий отдельных лиц, групп, коллективов – как во благо общественных интересов (социалистическое соревнование, новаторство и изобретательство, на транспорте – соревнование смежников и т.д.), так и в ущерб им (теневая экономика).

«Рыночники» утверждают, что только там, где административные методы управления заменяются экономическими, развитие и управление не противоречат, а дополняют друг друга. Но опыт показал, что в современной России экономические методы чаще всего служат не развитию, а деградации и откровенному стяжательству. Кроме того, экономические методы не обладают автоматизмом действия, они обязательно должны сопровождаться четкими и продуманными организационными решениями. Примером может служить появление логистики [4].

Следующее противоречие связано с противоречивостью самой социально-экономической обстановки в стране: декларируются права и свободы на фоне жесточайшей бюрократизации любого вида деятельности. Бюрократия была в свое время признана наиболее эффективным способом управления, но что хорошо для немецкой экономике – в условиях России приводит к росту коррупции и безответственности. Проблема управления особенно обостряется на региональном и местном (муниципальном) уровнях: приходится, по сути, собирать осколки того, что разрушено как разрешительными, так и запретительными мерами верхних эшелонов власти.

Противоречивость задач управления на современном этапе еще и в том, что необходимо добиться управляемости при неопределенности всего того, что составляет суть управления: объекта, субъекта, цели, средств, результата. В таких условиях подчинение следует добиваться не страхом административного наказания (это уже не работает) или экономических потерь (еще не работает), а наличием и эффективным использованием информацион-

ных ресурсов в пределах всей транспортной системы (в данном случае – региона).

Опора не на административную или экономическую, а на информационную систему управления позволяет, по мысли О.В. Гончарук, «определить соответствующие достигнутому уровню развития производительных сил масштабы и границы экономической самостоятельности звеньев транспортного комплекса» [1], а также рациональные соотношения между централизацией и децентрализацией, плановостью и рыночной стихийностью. Сравнительный анализ систем представлен в таблице.

*Таблица – Сравнительный анализ систем организации грузовых перевозок*

Показатель	Тип системы управления		
	Административная	Экономическая (рыночная)	Информационная (логистическая)
Субъект управления	Руководство транспортного предприятия	Предприниматель, предприятие, корпорация	Специализированная фирма-посредник
Объект управления	Транспортное предприятие		Группа предприятий (логистическая цепь)
Цель (результат)	Выполнение планов перевозок	Получение максимальной прибыли	Создание функциональной логистической системы
Средства	Приказы, распоряжения, указания	Цены, кредиты, акции, ценные бумаги	Типовые семы, технологии, процессы

Информационная система управления практически в чистом виде применяется в логистике: решениям, принятым логистическим центром, следуют в силу рационального распределения полномочий и информации между уровнями и звеньями логистической системы. Региональная транспортная система намного сложнее, но принципы логистического менеджмента могут быть использованы и здесь.

Таким образом, анализ систем управления грузовыми перевозками в регионе показывает, что в переходный период ни одна из систем (административная, экономическая или рыночная) в чистом виде не применима; перспективу имеет лишь информационная (логистическая) система, которая действует не административным или экономическим принуждением, а предложением (продажей) рациональных транспортных схем, технологий, процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гончарук, О.В. Управление транспортом: вопросы теории и практики / О.В. Гончарук. -СПб.: Наука, 1994. -219 с.
- 2 Единая транспортная система: учеб. для вузов /под ред. В.Г. Галабурды. -М.: Транспорт, 1996. -295 с.
- 3 Никифоров, В.С. Основы менеджмента: учеб. пособие / В.С. Никифоров. -Новосибирск, 2013. -159 с.
- 4 Никифоров, В.С. Логистика: учебник / В.С. Никифоров. -М., 2013. -256 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** органы управления, региональная транспортная система, логистика  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Кречетова Ксения Александровна, аспирант ФБОУ ВПО «НГавт»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РОСПУСКА ВАГОНОВ С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ С СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК**

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

**А.М. Островский, А.М. Лисютин**

**IMPROVEMENT OF DANGEROUS GOODS CARRIAGES DESCENT TECHNOLOGY**  
 Siberian state transport university  
 A.M. Ostrovskiy, A.M. Lisjutin

The article is devoted to the improved technology of dangerous goods carriages descent. The proposed technology of descent is aimed at reducing the operating charges of railways.

*Keywords: carriages, railway, descent, dangerous goods*

Рассматривается усовершенствованная технология роспуска с сортировочных горок вагонов, загруженных опасными грузами. Предлагаемая технология роспуска направлена на сокращение эксплуатационных расходов железных дорог.

В настоящее время на железнодорожном транспорте России проводится очередной

этап реформирования. Производится внедрение современных средств обеспечения безопасности перевозочного процесса, совершенствуются технологии переработки вагонопотоков на станциях, направленные на увеличение пропускной и перерабатывающей способностей железных дорог.

Одними из ключевых элементов, обеспечивающих бесперебойную и слаженную работу отрасли, являются сортировочные станции, на которых ежедневно перерабатываются десятки тысяч вагонов с широкой номенклатурой грузов. Опасные грузы являются одними из наиболее массовых грузов, перерабатываемых на сортировочных станциях [1]. При этом они требуют особых условий переработки, а в отдельных случаях запрещены к роспуску, что отрицательно влияет на скорость переработки вагонопотоков в целом [2].

Для решения данной проблемы руководством ОАО «Российские железные дороги» принята программа по комплексной автоматизации сортировочных горок. В связи с реализацией данного проекта учеными Сибирского государственного университета путей сообщения при непосредственном участии авторов настоящей статьи были выделены следующие основные направления совершенствования технологии роспуска вагонов, загруженными опасными грузами (рисунок).



*Рисунок – Основные направления совершенствования технологии роспуска составов с вагонами, загруженными опасными грузами*

Наибольший экономический эффект от сокращения эксплуатационных расходов по переработке на сортировочных горках вагонов, загруженных опасными грузами, может быть достигнут при максимальном приближении технологии их переработки к стандартной технологии, используемой при роспуске вагонов с обычными грузами, не имеющими ограничений по роспуску с горок [3]. При этом уменьшение эксплуатационных расходов достигается, в основном, за счет решения следующих задач:

- 1) сокращения объема маневровой работы, связанной с пропуском вагонов, имеющих ограничения по переработке, через сортировочную горку;
- 2) сокращения объема маневровой работы по перестановке отцепов с вагонами, загруженными опасными грузами, с одних на другие пути сортировочного парка;
- 3) сокращения объема повторной сортировки обычных вагонов, обусловленной направлением их на неправильные пути сортировочного парка по условиям безопасности переработки вагонов, загруженных опасными грузами.

Решение перечисленных задач позволит увеличить перерабатывающую способность сортировочных горок, сократить простой вагонов в системе расформирования – формирования и значительно снизить себестоимость переработки вагонопотоков как с опасными, так и обычными грузами.

При разработке новой технологии роспуска вагонов, загруженных опасными грузами, необходимо гарантировать безопасность процессов расформирования и формирования составов с отцепами, содержащими такие вагоны. Решение этой комплексной задачи невозможно без использования современных технических устройств и систем с учетом мирового



уровня развития железнодорожной техники [2].

Приводимая ниже технология роспуска с сортировочной горки вагонов, нагруженных опасными грузами, ориентирована на повышение перерабатывающей способности сортировочных горок, снижение эксплуатационных расходов по переработке вагонопотоков при обеспечении необходимого уровня безопасности роспуска вагонов на сортировочных горках за счет использования современных технических средств управления, контроля, а также исполнительных путевых устройств:

- автоматизированного управления скоростью состава при надвиге и роспуске;
- автоматизированного управления маршрутами отцепов и контроля маневровых передвижений;
- автоматизированного управления скоростью отцепов в процессе скатывания с горки;
- подсистемы контроля заполнения путей сортировочного парка.

При комплексном использовании указанных технических средств может использоваться описываемая ниже технология роспуска составов с вагонами, нагруженными опасными грузами.

Переработка составов с вагонами, нагруженными опасными грузами, выполняется без использования режима параллельного роспуска.

Перед началом роспуска состава с вагонами, нагруженными опасными грузами, выполняются следующие операции:

1 Прекращаются все маневровые передвижения в горочной горловине на путях, задействованных в процессе расформирования состава.

2 Производится контроль:

- исправности и свободности стрелочных переводов и тормозных позиций на спускной части горки и сортировочных путях (по показаниям контрольных приборов и визуально);
- состояния замедлителей на спускной части горки и парковой тормозной позиции (рабочее, заторможенное, отторможенное);
- фактической длины свободной части сортировочных путей (по показаниям приборов подсистемы контроля заполнения путей – КЗП).

3 Производится оповещение причастных работников о начале роспуска.

Надвиг состава на сортировочную горку выполняется со скоростью:

- для горок повышенной и большой мощности, не более 1,7 м/с;
- для горок средней мощности, не более 1,4 м/с;
- для горок малой мощности с тормозной позицией на спускной части, не более 0,8 м/с.

Роспуск составов с вагонами, нагруженными опасными грузами, производится в следующем режиме:

1 По показаниям приборов подсистемы контроля заполнения путей, с использованием данных сортировочного листа проверяется достаточность длины свободной части сортировочного пути, на который будет направляться отцеп с вагонами, нагруженными опасными грузами, с учетом длины направляемого на путь отцепа и его последующего ограждения. При необходимости выполняется осаживание или подтягивание вагонов (с последующим ограждением – при отсутствии необходимой группы прикрытия).

2 Начинается надвиг состава. При достижении отцепа с вагонами, нагруженными опасными грузами, места расцепки вагонов, производится снижение скорости надвига до минимального значения, обеспечивающего отрыв отцепа с вагонами, нагруженными опасными грузами, от надвигаемого состава.

3 После отрыва отцепа с вагонами, нагруженными опасными грузами, от надвигаемого состава производится немедленная остановка надвигаемого состава.

4 Скатывающийся отцеп с вагонами, нагруженными опасными грузами, тормозится на замедлителях спускной части горки и сортировочных путях в режимах, обеспечивающих выполнение следующих условий:

- а) максимальное замедление при торможении не должно превышать  $4 \text{ м/с}^2$ ;
- б) скорость выпуска отцепа с парковой тормозной позиции не должна превышать 1,4 м/с;
- в) должна обеспечиваться возможность экстренной остановки отцепа с вагонами, нагруженными опасными грузами, на второй тормозной позиции спускной части горки (для горок повышенной, большой и средней мощности) и на парковой тормозной позиции (для горок малой мощности) при соблюдении условия «а».

5 При направлении очередного отцепа на сортировочный путь, где находятся вагоны с

опасными грузами, используется та же технология, что и при роспуске отцепа с вагонами, загруженными опасными грузами (независимо от того, есть ли во вновь спускаемом отцепе вагоны с опасными грузами), с обеспечением скорости соударения не более 3 км/ч.

6 Надвиг состава возобновляется только после того, как отцеп проследовал предельный столбик последней общей для маршрутов скатывания рассматриваемого и очередного отцепа разделительной стрелки. При этом необходимо предварительно убедиться в готовности маршрута скатывания очередного отцепа.

7 При возникновении критических условий, создающих угрозу безопасности процесса переработки вагонов с опасными грузами на сортировочных горках (отказы в работе технических средств, неблагоприятные условия природной среды, включая сильный попутный ветер), роспуск вагонов по предлагаемой технологии немедленно прекращается. Дальнейшая переработка производится с использованием альтернативной безопасной технологии (методом осаживания или снятия локомотивом отцепов с вагонами, загруженными опасными грузами), вплоть до устранения критических условий.

Предлагаемая технология роспуска вагонов с опасными грузами с сортировочных горок обеспечит сокращение простоя вагонов на сортировочных станциях, а, следовательно, сократит сроки доставки грузов. Выполнение предлагаемых условий значительно снизит транспортные издержки грузоотправителей, грузополучателей и железных дорог, не нарушая требований к обеспечению безопасности перевозочного процесса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Островский, А.М. Пропуск вагонов с опасными грузами через сортировочные горки / А.М. Островский, А.М. Лисютин // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2012». -Одесса, 2012. -Т.2: Транспорт. -С. 38-42.

2 Островский, А.М. О переработке вагонопотоков с опасными грузами на сортировочных горках / А.М. Островский, А.М. Лисютин // Труды Международной научно-практической конференции «Транспорт-2013» /Рост. гос. ун-т путей сообщения. -Ростов н/Д, 2013. -С. 300-301.

3 Островский, А.М. О повышении безопасности процесса роспуска вагонов, загруженных опасными грузами, с сортировочных горок / А.М. Островский, А.М. Лисютин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -2013. -№1. -С. 52-56.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вагоны, железная дорога, роспуск с сортировочной горки, опасные грузы  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Островский Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Лисютин Антон Михайлович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## ТРУБОПРОВОДНАЯ ПАССАЖИРСКАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**С.В. Мятеж, И.Е. Жижкина, Д.С. Дмитрушина**

**PIPE PASSENGER TRANSPORT SYSTEM**  
Novosibirsk state technical university  
S.V. Mytezh, I.E. Zhizhkina, D.S. Dmitrushina

The paper proposes the concept of building separate lines for freight and passengers as part of a highly organized transport system with a guaranteed arrival time and high safety of movement in a crowded urban roads.

*Keywords: detached way, flyover, elevated track structure, high-speed passenger pipeline*

Предлагается концепция построения обособленных линий по перевозке грузов и пассажиров в составе высокоорганизованного транспортного комплекса с гарантированным временем прибытия и высокой безопасностью передвижения в условиях перегруженности городских дорог общего пользования.

Современное понимание эффективно работающего общественного транспорта предполагает построение для него обособленного пути, гарантирующего время прибытия пассажира или груза, поскольку практически всем современным крупным городам известна проблема переполненности дорог общего пользования. Обособленный путь предполагает полную изоляцию от основного транспортного потока благодаря созданию надземных или подземных путевых структур.

Достоинства подземных путевых структур доказаны практикой на примере использова-

ния метрополитена. Вместе с тем, хорошо известны и его недостатки, связанные, главным образом, с существенными финансовыми затратами в ходе строительства и эксплуатации такого подземного общественного транспорта.

Наиболее эффективен, как показывают исследования, может быть надземный общественный транспорт, путевые структуры которого представляют собой закрытые эстакады. Такие конструкции не зависят от погодных условий и внешних факторов, исключают наличие людей и посторонних предметов внутри путевой структуры вне подвижных единиц. Это позволяет автоматизировать большую часть процессов функционирования всей транспортной системы и значительно повысить ее безопасность. Концепция построения такой путевой структуры надземного типа сочетает простоту возведения и удобство в эксплуатации новых перспективных маршрутов в крупных мегаполисах.

В основе конструкции эстакады надземного общественного транспорта лежат элементы проекта скоростного трубопровода (рисунок 1) – fast tube system (FTS) [1].

Однако в предлагаемую транспортную систему авторы данной статьи внесли ряд принципиальных особенностей.

Прежде всего, трубопроводная пассажирская транспортная система, предложенная авторами, не преследует цель развития высоких (более 100 км/ч) скоростей подвижными единицами, и поэтому она не нуждается в откачивании воздуха из трубы. Это значительно сокращает эксплуатационные затраты, упрощает всю систему, повышает надежность ее функционирования и обеспечивает большую безопасность для пассажиров.

Кроме того, отсутствие вакуума внутри трубы позволяет увеличить габаритные размеры путевой структуры и пропускать подвижные единицы как в метро, что значительно увеличит пассажиропоток по сравнению с проектом FTS.

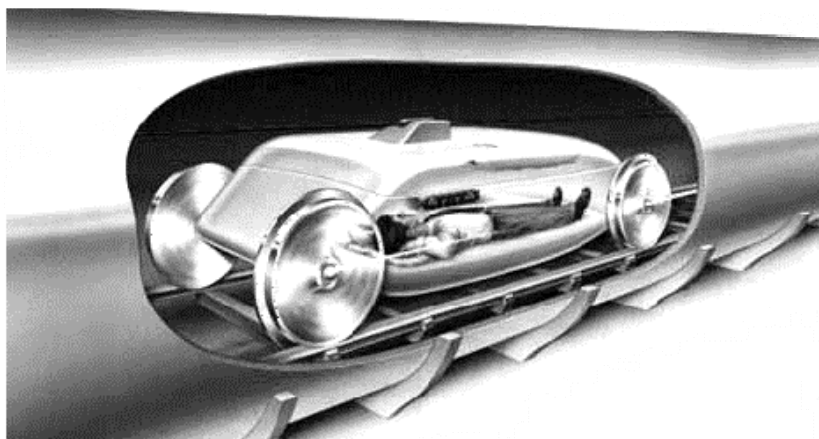


Рисунок 1 – Скоростной пассажирский трубопровод (FTS)

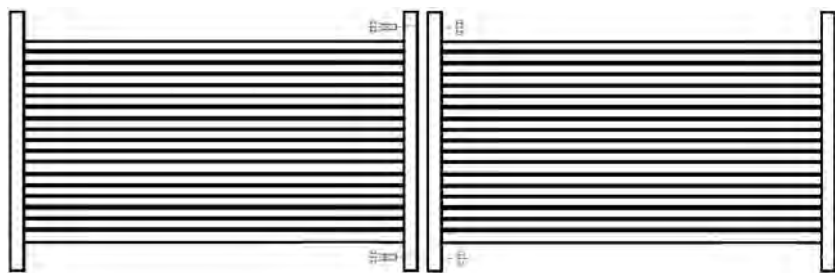


Рисунок 2 – Сборные секции трубопроводной пассажирской транспортной системы

элементов системы пассажирского трубопровода.

Основу надземной путевой структуры, предложенную авторами, образуют отдельные сборные секции (рисунок 2).

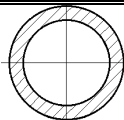
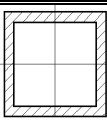
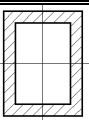
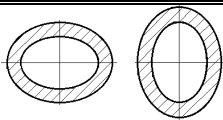
Такое исполнение позволяет очень быстро монтировать и демонтировать пути, ремонтировать секции по необходимости.

Выбор рациональной формы сечения профиля пути (таблица 1) для трубопроводной эстакады основан на результатах аналитического расчета [2]. Установлено, что овальная форма сечения поперечного профиля трубопроводной пассажирской эстакады наиболее предпочтительна, поскольку обеспечивает наибольшую жесткость конструкции.

Произведен выбор возможных и перспективных видов материалов (таблица 2) для построения трубопроводной эстакады с учетом их удельной стоимости и показателей прочности на сжатие, растяжение и изгиб [3]. Установлено, что наиболее перспективным вариантом

наряду с традиционными металлоконструкциями, является применение стеклопластика, который сопоставим по их стоимости, обладает сравнительно высокими прочностными показателями и при этом не боится коррозии.

*Таблица 1 – Основные формулы для аналитического расчета*

Формы сечения				
Площадь сечения	$S = \pi \delta d$	$S = 4H\delta$	$S = 2\delta(B+H)$	$S = \pi(ab - a_1b_1)$
Осевые моменты инерции	x	$J_{x,y} = \frac{SH^2}{6}$	$J_x = \frac{\delta H^3}{6} \left( 3\frac{B}{H} + 1 \right)$	$J_x = \frac{\pi}{4} a^2 (a + 3b) \delta$
	y		$J_y = \frac{\delta B^3}{6} \left( 3\frac{H}{B} + 1 \right)$	$J_y = \frac{\pi}{4} b^2 (b + 3a) \delta$
Осевые моменты сопротивления	x	$W_{x,y} = \frac{4}{3} H^2 \delta$	$W_x = \frac{\delta H^2}{3} \left( 3\frac{B}{H} + 1 \right)$	$W_x = \frac{\pi}{4} a (a + 3b) \delta$
	y		$W_y = \frac{\delta B^2}{3} \left( 3\frac{H}{B} + 1 \right)$	$W_y = \frac{\pi}{4} b (b + 3a) \delta$
Рассредоточенная нагрузка	$q = \frac{mg}{l}$			
Максимальное напряжение	x	$\sigma_{\max} = \frac{ql^2}{8W_{x,y}}$	$\sigma_{\max} = \frac{ql^2}{8W_x}$	
	y		$\sigma_{\max} = \frac{ql^2}{8W_y}$	

*Таблица 2 – Характеристики конструкционных материалов*

Характеристики	Алюминий	Сталь	Стеклопластик	Железобетон	Карбон
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2600	7850	1800	2400	2000
Модуль упругости, ГПа	71	210	40	10	17,2
Предел прочности на растяжение, МПа	32	240	520	100	118,2
Предел прочности на сжатие, МПа	32	230	300	18,5	108
Предел прочности на изгиб, МПа	32	610	670	80	178,8
Допустимое напряжение на сжатие, МПа	60	150	172	9	86,4
Допустимое напряжение на растяжение, МПа	70	140	156	1,4	94,4
Стоимость, руб./кг	52	42	69	60	900-1200

Применение стеклопластика для построения сборных секций трубопроводной пассажирской транспортной системы в совокупности с особенностью геометрии выбранной формы обеспечивает требуемую жесткость конструкции, снижает удельные затраты на изготовление и монтаж по сравнению с традиционными конструкциями, используемыми при возведении мостов и эстакад.

Следующая задача состояла в проверке полученных результатов путем проведения уточняющего расчета с помощью системы прочностного конечно-элементного анализа (FEM). Для увеличения прочности конструкции и уменьшения расхода материала авторы предлагают дополнительно использовать ребра жесткости на стенках сборных секций трубопроводной эстакады.

Созданная 3-D модель (рисунок 3) имеет следующие параметры: расстояние внутреннего эллипса по оси *x* до центра – 1767 мм, по оси *y* до центра – 1267 мм. Для внешнего эллипса расстояние от оси *x* до центра равно 2000 мм, а по оси *y* до центра – 1500 мм.

Модели трубопроводной пассажирской транспортной системы нагружались усилиями, вызванными весом поезда массой 45 т. В ходе моделирования было установлено, что конструкция без дополнительных ребер жесткости обеспечивает запас прочности с коэффициентом 8,7, а с ребрами жесткости – соответственно 15,2.

В авторском проекте, кроме того, произведен расчет системы электроснабжения (СЭС)

и предложен усовершенствованный способ токоотбора без использования контактных проводов ввиду ограниченных габаритов секций трубопроводной эстакады. Расчеты показали, что основу СЭС могут составлять стандартные элементы на базе тягового трансформатора типа ТСЗП-2500/10 (рисунок 4) [4]. Потери напряжения в тяговой сети не превышают 69-70 В, что соответствует допустимым [6] значениям.

Авторский проект позволит совместно с наземными транспортными системами создать эффективный мультимодальный транспортный комплекс. Результаты данного проекта будут полезны для развития инфраструктуры городов с плотным трафиком. Привлекательной стороной данного проекта является сравнительная легкость построения обособленных линий для перевозки грузов и пассажиров, создания высокоорганизованного транспортного комплекса, с гарантированным временем доставки в любую точку города и высокой безопасностью передвижения.

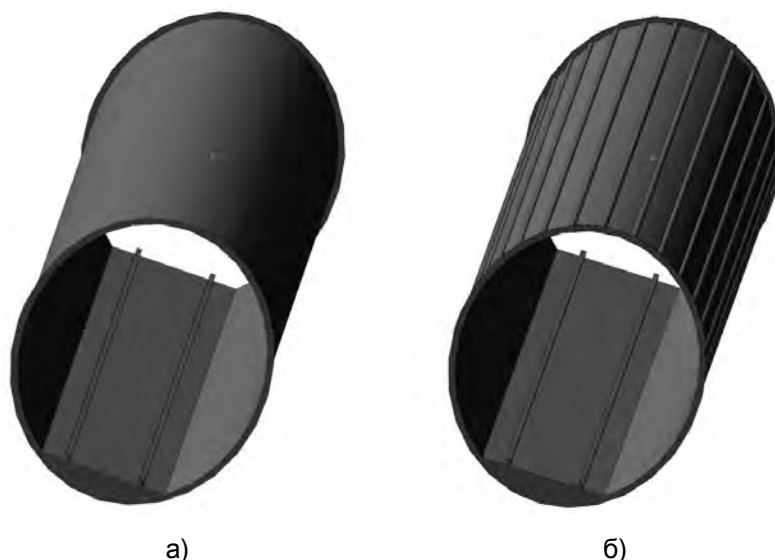


Рисунок 3 – Модели сборных секций трубопроводной эстакады: а)-без ребер жесткости, б)-с ребрами жесткости

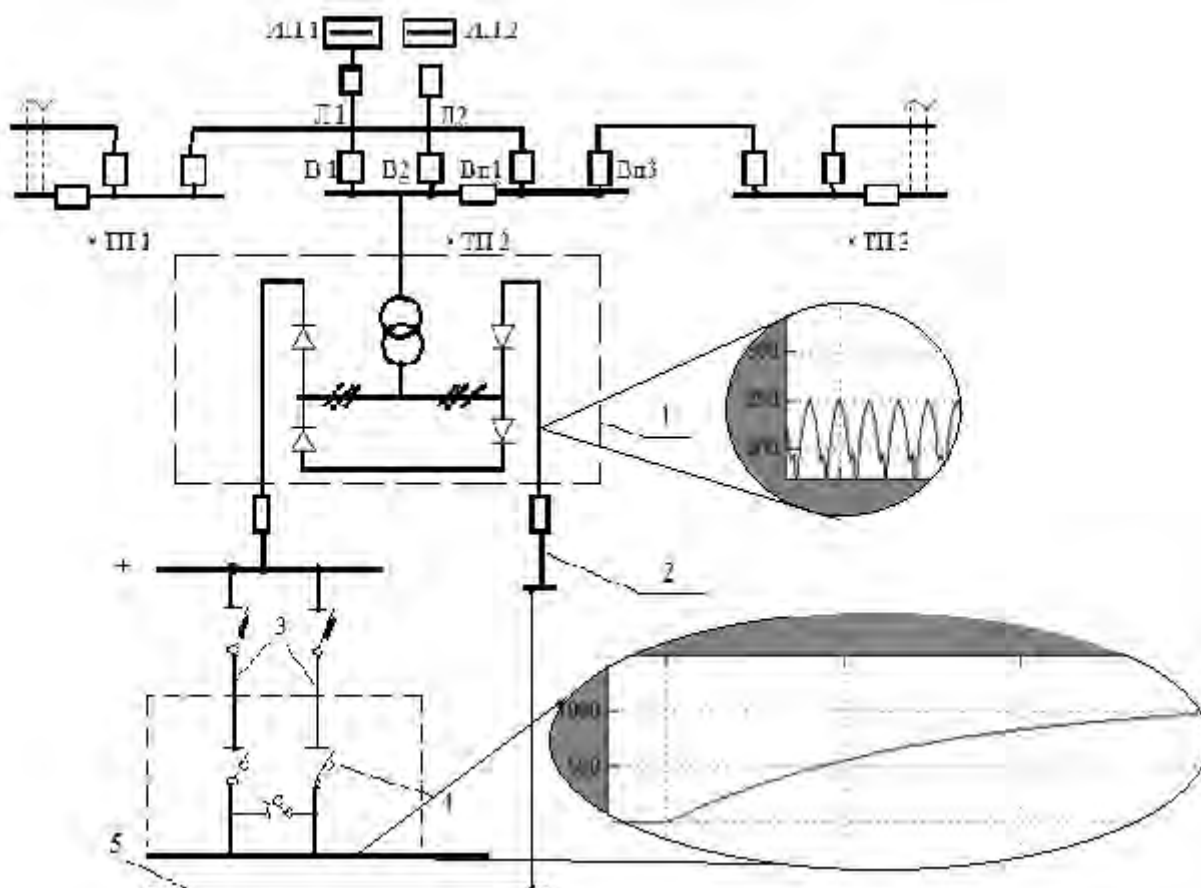


Рисунок 4 – Фрагмент однолинейной схемы системы электроснабжения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Evacuated Tube Transport Technologies: et3 Network: Space Travel on Earth [Electronic resource]. -Режим доступа: URL:

<http://et3.com>.

2 Бать, М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах. В 2 т.: учеб. пособие для вузов / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. -9-е изд., перераб. -М.: Наука, 1990.

3 Горчаков, Г.И. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. -М.: Высш. шк., 1997. -420 с.

4 Сопов, В.И. Системы электроснабжения электрического транспорта на постоянном токе / В.И. Сопов, Н.И. Щуров. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2013. -728 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *обособленный путь, эстакада, надземная путевая структура, скоростной пассажирский трубопровод*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Мятеж Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

*Жижкина Ирина Евгеньевна, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

*Дмитрушина Дарья Сергеевна, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

## **ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА СОВРЕМЕННОГО МЕГАПОЛИСА: БИОНИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ**

**ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»**

**А.Э. Аухадеев, П.П. Павлов, Л.Н. Киснеева, А.П. Соловьева**

**AN INNOVATIVE APPROACH TO THE ORGANIZATION OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT OF THE MODERN METROPOLIS : THE BIONIC CONCEPT**

**Kazan state power engineering university**

**A.E. Aukhadееv, P.P. Pavlov, L.N. Kisneeва, A.P. Solovieva**

Considered with modern methodological positions for the use of research and development management solution to the problem of urban electric transport, which is the complex structural engineering system, the model of the human brain that controls body functions and behavior.

*Keywords: urban electric transport, complexly technical systems, management model*

Рассмотрена с современных методологических позиций возможность использования для исследования и решения проблемы управления развитием городского электрического транспорта, являющегося сложноорганизованной технической системой, модели человеческого мозга, управляющего функциями организма и поведения.

В современных мегаполисах городской электрический транспорт это огромная и сложнейшая техническая система [1]. Если рассматривать эту систему с позиций теории сложноорганизованных систем, то возникает проблема диалектики отношений между ее внутренним свойством самоорганизации и саморазвития, с одной стороны, и возможностью целевого внешнего управления ее развитием, с другой. На эти отношения оказывает влияние и диалектика самих внутренних механизмов самоорганизации и саморазвития, такие как процессы «диссипации» – потери «вещества, информации и энергии» [2, 3], явления «бифуркации» – раздвоения или даже большего расщепления и непредсказуемости линий развития, смен «фазовых состояний» и другие, воспринимаемые здравом смысле как негативные. Эти процессы находятся в диалектических отношениях с бесспорно позитивными явлениями реорганизации и выбора направлений развития, оптимальных для существования системы.

Учитывая чрезвычайно высокую сложность технических систем, вообще и транспортных, в частности, целесообразно обратиться к ещё более сложной – сверхсложной модели управления транспортом, например, такой как мозг животных или даже человека, который по определению немецкого математика Германа Хакена [4] «сложен чудовищно» и «является самой сложной из всех известных систем». При этом, испытывая необходимость для восприятия такой модели применения методов «сжатия информации», целесообразно всё же не доводить её до упрощения, чрезмерных математических и логических абстракций, редукций. Необходимо сохранять восприятие её как конкретную живую систему, применяя известный гносеологический принцип «восхождения от живого созерцания к абстрактному мышлению и затем к конкретному (единому и сконцентрированному во всех внешних проявлениях и внутренних свойствах) образу действительности».

В состав городского транспорта, как системы высокого иерархического порядка, входят системы, в определенной степени подчиненные ей, но и не менее сложные. Это системы как технического, так и нетехнического, характера: социальные, экономические, энергетические,

экологические. Каждая из них имеет специфический «вещественный» материал, свою форму организации и свой энергетический потенциал. Средой развития транспорта являются другие технические и нетехнические системы города в целом, представляя собой над ним систему ещё более высокого иерархического порядка. Как система все более усложняющаяся, современный городской транспорт обретает эмерджентные свойства, характеризующиеся неожиданностью характера развития и чрезвычайно сильным эффектом воздействия на внешнюю социальную, культурную и природную среду. Перед современными городами стоит острая проблема придать этой эмерджентности предсказуемое и позитивное направление – управлять ею, насколько это возможно.

По представлениям современной науки транспорт может сравниваться с живым биологическим организмом по ряду его свойств: спонтанно возникнув [2, 3, 5] в определенной форме, он обретает способность к дальнейшей самоорганизации и саморазвитию, взаимодействуя и конкурируя с другими системами, воспринимая и развивая новые позитивные свойства. Однако отдельные формы транспортной системы воспринимают и накапливают также и негативные свойства, что ведет их к гибели как индивидуальной системы, подобно биологическим системам-организмам. Гибнет система, как бы стряхивая с себя все накопившиеся негативы ради сохранения и обновления свойств в составе системы более высокого иерархического порядка, к которой она принадлежит и которая содержит в себе все – «энергетические, вещественные и информационные» [2, 3] – условия для её возрождения. Это – гибель-возрождение системы, представляющей собой индивидуальную неделимую единицу, принадлежащую к системе более высокого порядка. В биологии такой индивидуальной (целостной и неделимой) единицей является особь, принадлежащая к определенному виду, роду, биоценозу, наконец – к биогеоценозу, экосистеме. В этой глобальной системе особи тесно связаны между собой механизмами биологической, молекулярной генетики, которые определяют как индивидуальные свойства организмов, так и всей системы в целом. Это механизмы, формирующиеся и развивающиеся в их всеобщей истории – филогенезе и истории индивидуальной – онтогенезе.

В биологических сложноорганизованных системах-организмах процессы самоорганизации и саморазвития происходят в диалектике механизмов «апоптоза» – «естественного, необходимого, постоянно сопровождающего жизнь» умирания и «регенерации» – рождения новых элементов, пластичности – изменения форм жизни и других. Они соответствуют общим понятиям диссипации, реорганизации и тому подобное. Однако к биологической системе не применимо понятие управления, биологическая жизнь развивается только по внутренним механизмам самоорганизации и саморазвития – «самоуправления» (термина противоречивого). По биологической аналогии («метафоре») может быть рассмотрено глобальное единство социальных систем: личность, коллектив, общество, материальная и духовная культура (в том числе, транспортная система), цивилизация [6]. Именно здесь, уже в соответствии со здравым смыслом, необходимо вводится понятие управления.

В транспортной системе могут быть различимы единицы разного уровня организации: «индивидуальные» (особые), «видовые» и «родовые», входящие вместе с нетранспортными системами в технические системы глобального более высокого иерархического уровня, в составе которых они имеют все условия для своего развития – «гибели и возрождения». В отличие от понятия особь в биологии, как изолированно взятое живое существо, принадлежащее к определенному виду животных, в применении к транспортной системе индивидуальным – целостным и неделимым, в известном смысле особью, может быть вид транспорта и даже род по отношению к техническим системам, в составе которых они находятся.

Поэтому «индивидуальная» организация транспорта (это, разумеется, не личный транспорт) – это транспортная система особой формы, представляющая собой целостную и неделимую единицу в какой-то транспортной системе более высокого иерархического уровня. Существуют самые различные «индивидуальные» формы: от грузчиков, курьеров до высокоскоростного наземного, подземного и более сложных, космических форм. Индивидуальными системами транспорта могут быть условно названы и «виды» транспортных систем, представляющие собой единицы транспортной системы более высокого уровня организации – определенного «рода» транспорта, например, электрический транспорт как вид в общей транспортной системе города.

При рассмотрении транспортной системы индивидуального уровня с позиций биологической метафоры выдвигается идея, представляющая управление развитием городского транспорта в модели устройства мозга, являющегося индивидуальным инструментом

управления функциями биологического организма-системы. В этом случае целесообразно обратиться к устройству мозга высокоорганизованных позвоночных животных и даже мозга человека, имея в виду значение интеллектуальных функций и разумных свойств в решении чрезвычайно сложных и актуальных для общества проблемы развития транспортной системы.

В этих целях могут быть использованы максимально возможные по своей сложности модели устройства и функций мозга, подробно разработанные под различным углом зрения отечественными учеными, физиологами Петром Кузьмичом Анохиным [7], Николаем Александровичем Бернштейном [8] и немецким ученым, математиком Германом Хакеном [4]. Обладая общими с живыми организмами свойствами, техническая система может быть управляема с учетом присущих только ей специфических механизмов самоорганизации и саморазвития. Механизмы управления специфичны, подобны, но, разумеется, не тождественны биологическим – мозговым, которые и требуется раскрыть, понять, чтобы иметь возможность воздействовать на них, в целях управления развитием технической системы.

В рассмотрении устройства и механизмов управления «видовыми», «родовыми» и более высокими уровнями организации транспортной системы при обращении к биологической метафоре должна быть задана идея генетической модели происхождения и развития живых организмов. Но в связи с задачей управления транспортной системой необходимо применение «антропологической метафоры» с использованием представлений о разуме и сознании – индивидуальном и общественном.

Из краткого обзора существующих моделей мозга животных и человека, которые могут быть использованы в исследовании проблем управления транспортной системой, сложноорганизованной самоорганизующейся и саморазвивающейся, можно сделать следующие выводы:

1 Необходимость управления транспортом, представляющим собой современное достижение материальной и духовной культуры общества, бурно развивающееся на основе научно-технического прогресса, содержит определенное противоречие. Оно связано с отношением процессов управления к внутренним процессам самоорганизации и саморазвития, присущим таким сложноорганизованным системам.

2 Эвристическую ценность в решении этой проблемы может иметь модель максимальной сложности, которую представляет собой мозг, управляющий не только функциями организма, но, в первую очередь – разумным поведением человека.

3 Такой эвристической модели, способной повлиять не только на теоретическое, но, главное – практическое решение проблемы, наиболее соответствует представление об анато-мо-функциональной структуре человеческого мозга, созданное Н.А. Бернштейном.

4 Перед техническим сообществом возникает необходимость освоения биологических и гуманитарных метафор во всей их сложности и необходимость сопоставления их с реальной структурой транспортной системы города, с механизмами управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вучик, Вукан Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / Вукан Р. Вучик; пер. с англ. А. Калинина, под науч. ред. М. Блинкина. -М.: Территория будущего, 2011. -574 с.
- 2 Пригожин, И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: пер. с англ. / И. Пригожин, И. Стенгерс; общ. ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича, Ю.В. Сагнова. -М.: Прогресс, 1986. -432 с.
- 3 Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен; пер. с англ. Емельянова; под ред. Ю.Л. Климонтовича и С.М. Осовца. -М.: Мир, 1980. - 404 с.
- 4 Хакен, Г. Принципы работы головного мозга: Синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности / Г. Хакен. -М.: ПЕР СЭ, 2001. -351 с.
- 5 Луман, Н. Социальные системы: очерк общей теории / Н. Луман // Западная теоретическая социология 80-х гг. -М., 1989. -С. 41-64.
- 6 Кузык, Б.Н. Цивилизации: теория, история, диалог, будущее. В 2 т. Т.1. / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец. -М.: Ин-т экон. стратегий, 2006. -768 с.
- 7 Анохин, П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем / П.К. Анохин. -М., 1971.
- 8 Бернштейн, Н.А. Физиология движений и активность / Н.А. Бернштейн; под ред. О.Г. Газенко. -М.: Наука, 1990. -490 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *городской электрический транспорт, сложноорганизованные технические системы, модели управления*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Аухадеев Авер Эрикович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «КГЭУ Павлов Павел Павлович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «КГЭУ Киснеева Ляйля Нургалеевна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «КГЭУ Соловьева Анастасия Павловна, магистрант ФГБОУ ВПО «КГЭУ*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *420066, г.Казань, ул.Красносельская, 51, ФГБОУ ВПО «КГЭУ*



## **ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТЕПЕНИ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ ВЕДЕНИЯ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА В ТРАНСПОРТНОЙ КОРПОРАЦИИ**

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

**О.А. Мурзина**

**FUNCTIONAL-COST JUSTIFICATION OF THE DEGREE OF CENTRALIZATION OF ACCOUNTING IN THE TRANSPORT CORPORATION**

Siberian state transport university  
O.A. Murzina

The article deals with the degree of centralization in selecting the organization of accounting. The relevance of this paper is that at the present time for cost management in large corporations need to search for new solutions, including using the method of functional-cost analysis.

*Keywords: centralization, structure, management, accounting, control, ratio, functional-cost analysis, decentralization*

Рассмотрены вопросы степени централизации при выборе организации ведения бухгалтерского учета. Актуальность данной статьи состоит в том, что в настоящее время для управления издержками в крупных корпорациях необходим поиск новых решений, в том числе используя метод функционально-стоимостного анализа.

В любой организации возникает вопрос распределения полномочий, который является важнейшей проблемой при выборе структуры организации. При этом существуют два принципиально разных подхода: централизация и децентрализация.

Вопрос о том, какая система организации лучше – централизованная или децентрализованная, должен рассматриваться отдельно для каждого случая. В некоторых ситуациях и в отдельные исторические моменты необходим строгий централизм, в других случаях централизованную организацию придется превратить в децентрализованную и через некоторое время, может быть, снова вернуться к централизму. Децентрализация не может происходить бесконечно без разрушения самой организации, в какой-то момент она сменяется обратным процессом – централизацией.

Необходимо рассматривать в каждом отдельном случае степень централизации и децентрализации и об оптимальном сочетании этих процессов в определенных условиях. Полной централизации препятствует то, что люди располагают лимитированными ресурсами времени, знаний, опыта и могут одновременно решать лишь определенное число проблем, усваивать ограниченный объем информации. Полная децентрализация невозможна из-за того, что организация потеряет управляемость.

Бухгалтерскому учету присущи элементы, характерные для функций управления. Исходя из этого, бухгалтерский аппарат как часть аппарата управления формируется с учетом общих принципов организации структур управления. Структура бухгалтерского аппарата должна формироваться в соответствии с объективными закономерностями развития предприятия и поэтому основа ее совершенствования состоит в познании и использовании этих закономерностей.

Важнейшим условием работы бухгалтерии являются правильное построение аппарата бухгалтерии и расстановка учетных работников, а они в свою очередь зависят от формы организации бухгалтерского учета.

Значительный опыт децентрализации и централизации учета в различных его формах накоплен за весь период организации и развития учетного процесса в Советском Союзе. Исторически в теории нашего бухгалтерского учета сложились три понятия в этой области – централизация учета, децентрализация учета, централизованные бухгалтерии.

Под централизацией принято понимать такую форму организации учета, при которой все учетные работы (обработка и группировка учетных данных, аналитический и синтетический учет, составление отчетности, экономический анализ) сосредоточены в единой бухгалтерии предприятия.

Под децентрализацией обычно понимается такая форма организации учета, при которой кроме главной бухгалтерии имеются бухгалтерии, осуществляющие учет вплоть до составления отдельного бухгалтерского баланса. В главной бухгалтерии на основании этих

балансов составляются отчет и баланс в целом по предприятию. Таким образом, при этой системе контроль за работой отдельного подразделения ведется обособленным учетным аппаратом.

Следующей формой организации бухгалтерского учета являются централизованные бухгалтерии.

Централизованные бухгалтерии в основном можно разделить на два типа. Бухгалтерия вышестоящей организации первого типа преобразуется в централизованную бухгалтерию. Такие бухгалтерии наряду с функциями централизованной бухгалтерии (обслуживание учетной информацией своих предприятий) выполняют функции хозяйственного контроля и руководства.

Второй тип – это централизованные бухгалтерии, которые создаются как самостоятельные структурные и хозяйственные подразделения (единицы), или являются юридическими лицами. Будучи самостоятельными, действуя на договорных условиях, эти бухгалтерии выступают как поставщики учетных услуг. Основной функцией этих централизованных бухгалтерий является не что иное, как организация централизованной (интегрированной) системы сбора и обработки учетно-экономической информации. Именно к такому типу бухгалтерий относятся в настоящее время созданные в крупных корпорациях объединенные центры обслуживания (далее ОЦО) по ведению бухгалтерского и налогового учета

Бухгалтер может наиболее эффективно выполнить свою роль лишь в том случае, если он будет максимально приближен к объекту управления. В связи с этим спорны утверждения о том, что функции анализа должны быть возложены только на работников централизованной бухгалтерии. Этим должны заниматься и работники низовых структурных подразделений. Только в этом случае бухгалтер будет заинтересован в результатах работы предприятия, в активном изыскании и мобилизации внутренних резервов.

Р. Сикорскис писал, что бухгалтерский труд может быть разделен на ряд самостоятельных стадий. К первой стадии относится «наблюдение и контроль за ходом хозяйственных операций, за фиксацией этих операций в первичных документах и формирование, таким образом, исходных данных. Вторая стадия заключается в арифметической обработке этих данных, накоплении их в нужных разрезах для получения требующейся информации и составления отчетности. Третья, конечная, стадия – использование накопленной информации для анализа хозяйственной деятельности и выявления причин, повлиявших на ее результаты, в целях закрепить достигнутые успехи и устранить отрицательные факты [4].

Естественно, что первая стадия учета не может быть оторвана от производственного или хозяйственного процесса и должна осуществляться параллельно с ним. Зато все последующие его стадии – а они, как правило, самые трудоемкие – непосредственно с производством не связаны и с успехом могут осуществляться отдельно от него. Это создает благоприятные условия для перевода бухгалтерского учета на предприятиях и в хозяйственных организациях на совершенно новые, более прогрессивные основы» [4].

Главное и основное в работе бухгалтерий – это организация производственного учета и контроль за сохранностью материальных ценностей и их использованием. При этом все эти вопросы на каждом предприятии, в каждом цехе и каждой кладовой решаются по-разному, в зависимости от конкретных условий и особенностей в организации производства и формирования затрат на производство. Более того, условия работы непрерывно изменяются и надо знать все эти изменения, быть в гуще всех событий предприятия. В.Д. Новодворский отмечает, что бухгалтерия несет в себе контрольные функции в силу того, что именно «в бухгалтерском учете сочетаются приемы документального контроля с контролем фактическим» [5]. Вместе с тем задача работников учета сводится не только к сбору первичных документов и их обработке, но и к использованию окончательных результатов такой обработки, их всестороннему анализу и принятию необходимых мер, направленных на устранение выявленных недостатков в работе предприятия.

П.С. Безруких утверждает, что «все дальнейшее развитие и совершенствование бухгалтерского учета должно идти в направлении усиления контрольных функций учета, расширения аналитических данных учета и повышения оперативности в использовании этих данных для управления, планирования и принятия экономически обоснованных решений. Бухгалтерские работники – не простые регистраторы хозяйственных операций, а организаторы и деятельные участники экономической работы, активные борцы за повышение эффективности производства и качества работы» [1].

Многие вопросы централизованного учета трактуются достаточно разноречиво. Серьез-

ным недостатком освещения этих вопросов является их рассмотрение в отрыве от проблем управления. За основу разграничения этих понятий разные авторы брали различные принципы. Такими принципами являются у одних авторов организация и структура учетного (бухгалтерского) аппарата и формы его связи с другими частями предприятия (Галалан А.М., Сумцов А.И.); у других – установление учетных взаимоотношений отдельных оперативно обособленных частей с центральным аппаратом предприятия (Леонтьев Н.А., Макаров В.Г., Белоусов М.С.); у третьих – порядок распределения учетных работ или функций между отдельными частями или участниками хозяйственной деятельности (Кипарисов Н.А., Лозинский А.И., Цемко Н.Д., Безруких П.С., Быкова А.Л.).

Таким образом, за основу разграничений понятия централизации и децентрализации учета берется один какой-либо признак: система учетных показателей, построение учетного аппарата, организация распределения учетных работ.

При сопоставлении вариантов централизации и децентрализации подчеркиваются следующие основные преимущества централизации: сокращение издержек на ведение учета, возможность эффективного использования вычислительной техники, применения разнообразных принципов разделения труда, улучшение и приближение руководства учетным аппаратом со стороны главного бухгалтера, усиление контроля за работой нижестоящих звеньев. Отмечаются недостатки, присущие и централизации учета. При этом имеются в виду не сами принципы централизации, а лишь некоторые формы и способы осуществления ее на практике. Так, при чрезмерной централизации учет отрывается от непосредственного оперативно-хозяйственного процесса и в этом случае не может служить орудием текущего руководства на месте, что затрудняет обзорность всей системы учетных показателей.

При децентрализации учета отсутствуют или же в меньшей степени проявляются положительные черты, присущие централизации. Положительные стороны децентрализованной системы учета при этом – это приближение бухгалтерского аппарата к месту совершения хозяйственной операции, что усиливает предварительный и текущий контроль и улучшает использование учета в оперативной и повседневной работе. В начале 1930-х годов, когда в нашем народном хозяйстве стали широко внедряться принципы хозяйственного расчета, децентрализованный учет сыграл определенную положительную роль.

В 1939 г. А.И. Лозинский подчеркивал, что в практике часто имеет место использование преимуществ обоих принципов путем технической централизации учета, то есть централизации технической работы по учету отдельных предприятий, и балансовой децентрализации, при которой балансы составляются по каждому предприятию [3].

При этом возникает еще одна весьма существенная проблема, которая будет характеризовать сочетание и степень централизации и децентрализации в учете. В этом случае речь идет о географическом рассредоточении учетных функций.

Некоторые разногласия у ученых вызывает вопрос об ослаблении контрольных функций учета при централизации. Такие ученые, как В.Б. Ивашкевич, А.Н. Куприенко утверждают, что централизация должна усилить контрольные функции учета, как за счет общего улучшения учетной работы, так и вследствие того, что при централизации бухгалтерия в большей степени независима в проявлении своих прав и исполнении обязанностей, чем до централизации [2]. О разумном соотношении централизации и децентрализации высказываются в своих трудах В.И. Петрова, К.Н. Нарibaев. Мнение других учетных (В.С. Спирин, Н.А. Кипарисов, А.А. Додонов, А.Н. Кашаев, В.Д. Новодворский) сводится к тому, что при централизации значительно ослабляются контрольные функции учета, создаются возможности злоупотреблений и хищений, кроме этого создаются благоприятные условия для различного рода злоупотреблений в самой системе учетной регистрации.

Необходимо и дальше осуществлять поиски более рациональной организации работы учетных аппаратов на основе полной автоматизации всех учетных работ и более эффективного использования вычислительной техники. Но эти поиски должны быть направлены не на ослабление, а на усиление контрольных функций учета.

В настоящее время, когда непрерывно увеличивается интенсивность работы, возрастают потоки экономической информации, в этих условиях было бы неверно и экономически неоправданно и стратегические (перспективные) и оперативные (тактические) функции управления возлагать целиком на вышестоящие звенья управления. Более того, такие системы и структуры управления на определенном этапе становятся тормозом развития, так как усложняют управление и, как правило, приводят к тому, что решение оперативных и текущих вопросов начинает доминировать над решениями важнейших стратегических и пер-

спективных вопросов. Верхние эшелоны управления становятся перегруженными управленческими функциями и решением задач разного масштаба, что снижает эффективность управления.

Проблема централизации управления заключается не в сосредоточении задач и функций управления в едином центре, а в рациональном распределении их между органами различных уровней при решающей роли центра. Необходимо, чтобы вышестоящие звенья управления занимались решением крупных проблем развития, имеющих стратегический характер, а функции текущего управления выполняли нижестоящие ступени в иерархии управления.

Соотношение элементов централизации и децентрализации не является постоянным и застывшим. Это постоянно совершенствующийся процесс, органически связанный с усложнением хозяйственных связей. Актуально признание Нарихбаевым К.Н. относительности разбиваемых категорий, то есть «в сущности речь должна идти об определенной степени концентрации учетной системы, ее коэффициент не может быть больше единицы (абсолютная полная централизация) и меньше нуля (абсолютно полная децентрализация)» [6]. В связи с решением проблемы соотношения централизации и децентрализации находится и степень управляемости объектами. Все это приводит к усложнению систем управления, а отсюда и к необходимости придания большей хозяйственной самостоятельности отдельным предприятиям и их подразделениям. В США, например, все финансово-расчетные операции предприятий, входящих в состав фирмы или организации осуществляются в централизованном порядке. Однако на всех таких предприятиях, независимо от их размеров, сохраняются самостоятельные бухгалтерии производственного учета.

Для управления издержками в транспортных корпорациях необходим дальнейший поиск рациональной организации ведения бухгалтерского учета. В современных условиях одним из вариантов управления финансовыми ресурсами организации является метод функционально-стоимостного анализа. Применение данного метода при принятии управленческих решений позволит получить функционально-стоимостное обоснование степени централизации ведения бухгалтерского учета [7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бухгалтерский учет: учебник / П.С. Безруких [и др.]; под ред. П.С. Безруких. -М.: Финансы и статистика, 1982. -456 с.: ил.
- 2 Ивашкевич, В.Б. Бухгалтерский учет в условиях совершенствования хозяйственного механизма / В.Б. Ивашкевич. -М.: Финансы и статистика, 1982. -175 с.: ил.
- 3 Кашаев, А.Н. Проблемы учета и анализа экономической эффективности в производственных объединениях / А.Н. Кашаев. -М.: Финансы, 1978.
- 4 Додонов, А.А. Организация учета в условиях АСУ / А.А. Додонов. -М.: Легкая индустрия, 1973.
- 5 Новодворский, В.Д. Бухгалтерский учет в системе управления / В.Д. Новодворский. -М.: Финансы, 1979.
- 6 Керженцев, П.М. Принципы организации: избр. произведения / П.М. Керженцев. -М.: Экономика, 1968. -464 с.
- 7 Щербаков, В.А. Основы финансового функционально-стоимостного анализа / В.А. Щербаков, Е.А. Приходько. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2003. -164 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** централизация, структура, управление, учет, контроль, соотношение, функционально-стоимостной анализ, децентрализация

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Мурзина Оксана Анатольевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

## **РАЗВИТИЕ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПНОГО РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

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

**Л.Н. Аршба, А.В. Сапегин**

### **DEVELOPMENT OF COMPETITION IN THE MARKET OF CURRENT UNCOUPLING REPAIR OF FREIGHT CARS**

**Siberian state transport university**

**L.N. Arshba, A.V. Sapegin**

The paper analyses the existing pricing system for current uncoupling repair and proposes the methods for price fixing and non-pricing methods for development of competitive advantages of car maintenance depots under the development of competitive environment.

*Keywords: current uncoupling repair, development of competitive environment, pricing methods, price-list, competitive advantages*

Проанализирована существующая система ценообразования на текущий отцепочный ремонт и предложены способы установления цены и неценовые методы формирования конкурентных преимуществ

ществ эксплуатационных вагонных депо в условиях развития конкурентной среды.

Одной из задач четвертого этапа реформы является реализация «пилотных» (экспериментальных) проектов развития конкуренции в перевозочной деятельности. В настоящее время практически весь парк грузовых вагонов находится в частных компаниях. Реформирование ОАО «РЖД» направлено не только на увеличение доли частного парка грузовых вагонов, но и на создание конкурентной среды на рынке ремонта грузовых вагонов.

Основными задачами в части взаимодействия с собственниками подвижного состава в 2013 году являются:

- переход на ремонт грузовых вагонов только на основе договорных отношений по фактическим затратам с правом выбора собственника вагона уровня договора – сетевой или дорожный;
- переход на электронный документооборот;
- минимизация пакета документов, предоставляемого собственнику вагона на отремонтированный вагон;
- ввод в промышленную эксплуатацию программы АСУ ТОРЭк («Текущий отцепочный ремонт на основе экономических критериев»);
- мониторинг рынка услуг в части нововведений по ремонту грузовых вагонов [1].

Частный парк вагонов в процессе эксплуатации проходит различные виды ремонтов, одним из них является текущий отцепочный ремонт (ТОР). На рынке ТОР в настоящее время уже существуют частные компании, а также дочерние компании ОАО «РЖД», создающие конкуренцию в данном сегменте. Их доля пока слишком мала, чтобы влиять на конъюнктуру рынка и составить серьезную альтернативу ОАО «РЖД», но основы развития конкурентной среды уже заложены и поэтому создание здоровой рыночной конкуренции в данной сфере остается только вопросом времени.

Доли компаний на рынке текущего отцепочного ремонта представлены на рисунке.

В процессе развития конкуренции в сфере производства текущего отцепочного ремонта большинство споров возникает вокруг цены за ТОР и способов ее формирования. В настоящее время ценообразование на текущий отцепочный ремонт осуществляется с помощью единого Прейскуранта цен. При существующей системе формирования стоимости на ТОР, происходит множество споров о справедливости формирования цены, возникающие между собственниками подвижного состава и компаниями операторами с одной стороны и ОАО «РЖД» с другой. Так как на конкурентном рынке у собственников подвижного состава появится альтернативный выбор пункта ремонта, важнейшим фактором их привлечения станет стоимость оказываемых услуг, поэтому для эффективной деятельности нужен правильный подход к ценообразованию.

Поскольку Российские железные дороги стали первой организацией, осуществляющей текущий отцепочный ремонт, данная компания может служить ценовым ориентиром для новых игроков и стать лидером на данном рынке. У лидирующей компании, есть определенные рычаги для поддержания своего положения на рынке. Во-первых, она может удерживать цены на достаточно низком уровне, чтобы снизить мотивацию входа на рынок новым фирмам и сделать непривлекательным рост уже существующим конкурентам. Во-вторых, использовать неценовые методы: держать высокий уровень качества производимых товаров и услуг, использовать инновационные методы производства.

Удерживание цены на достаточно низком уровне можно осуществить, производя расчет стоимости ремонта по фактическим затратам. Расчеты показали, что цены на ремонт, рассчитанные по фактическим затратам, ниже чем цены, заложенные в прейскуранте.

Крупные игроки, уже начинающие производить ТОР, составят серьезную конкуренцию существующим участкам ремонта, так как данные компании имеют свои преимущества и рычаги давления на рынок. Вагоноремонтные компании (ВРК) осуществляют капитальный и деповагонный ремонт грузовых вагонов, а также производят ремонт и диагностику литых дета-

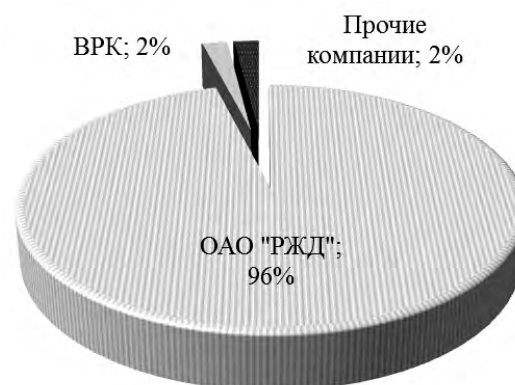


Рисунок – Структура рынка текущего отцепочного ремонта

лей тележки, замененных при текущем отцепочном ремонте. ВРК может значительно сократить время ремонта, так как не нужно будет увозить детали на проверку и ремонт, а производить данные операции на месте. Если литье не нужно будет транспортировать, то сократятся и расходы, связанные с данной операцией, что будет положительно сказываться на стоимости ремонта. Еще одним преимуществом является то, что существующая оснащенность вагоноремонтных компаний позволяет производить разбитый сейчас на несколько частей процесс в едином цикле. Также сократится время оформления комплекта документов, предъявляемых собственникам подвижного состава для оплаты ремонта, на вагоны, отцепленные по технологическим неисправностям, так как планы расследования оформляются в ВРК с последующим отправлением в эксплуатационные депо.

Первая грузовая компания, являясь крупным собственником подвижного состава, может ограничиться внутренним спросом, производя ремонт собственных вагонов, при этом займет третью часть рынка текущего отцепочного ремонта.

На конкурентном рынке собственник подвижного состава сможет выбирать фирму, производящую текущий отцепочный ремонт, и ключевыми критериями станут цена, скорость и качество производимого ремонта. Если ОАО «РЖД» не подготовиться к предстоящей борьбе за потребителя, то оно может потерять более шестидесяти процентов от существующих объемов ремонта.

В настоящее время частные компании, производящие текущий отцепочный ремонт, это в основном собственники подвижного состава, которые давно присутствуют на рынке железнодорожных грузоперевозок. Они имеют незначительные объемы производства и не могут влиять на конъюнктуру рынка.

Для повышения конкурентоспособности и завоевания конкурентных преимуществ эксплуатационным вагонным депо необходимо в ближайшее время провести ряд мероприятий:

- установить гибкую систему ценообразования;
- модернизировать и дооснастить производственные мощности;
- модернизировать документооборот;
- повысить качество производимых работ и ввести контроль качества;
- организовать площадки для хранения давальческого сырья на участках текущего отцепочного ремонта;
- усовершенствовать договора на проведение ТОР.

Сделать систему ценообразования более гибкой можно за счет применения дифференцированного прейскуранта цен на текущий отцепочный ремонт, рассчитанного для каждого вагонного эксплуатационного депо, что позволит:

- формировать справедливую цену на ремонт, используя в основе расчетов фактические затраты на ТОР;
- повысить конкурентоспособность цены на текущий отцепочный ремонт;
- снизить финансовые риски при взаиморасчетах с собственниками подвижного состава и компаниями-операторами;
- увеличить прозрачность формирования цены;
- учесть региональные особенности стоимости работ.

Произведенные расчеты показали, что стоимость ремонта имеет резервы для снижения. Данный фактор можно использовать в конкурентном секторе для привлечения потребителя, снижения мотивации входа на рынок новым фирмам и сделать непривлекательным рост уже существующим конкурентам. Расчет по фактическим затратам, а не по усредненным ценам позволит получать стабильную прибыль и снизить финансовые риски предприятия. Формирование цены за ремонт станет более прозрачным и повысит её обоснованность.

Модернизация и дооснащение участков текущего отцепочного ремонта позволит выполнять полный цикл работ самостоятельно и повысить производительность труда. Участки нужно дооснастить оборудованием для проверки дефектов и ремонта литых деталей тележки, что значительно сократит время ремонта, время составления первично-учетной документации, стоимость ремонта и позволит убрать зависимость от вагоноремонтных предприятий.

В настоящее время на модернизацию документооборота направлено много усилий, однако активно внедряемая программа АСУ «ТОРЭК» пока не способствует ускорению и сокращению документооборота из-за недоработки программы.

Организация площадок для хранения давальческого сырья на участках текущего отце-

почного ремонта позволит повысить финансовый результат компании, так как позволит получить дополнительную прибыль за хранение деталей.

Действующие централизованные договора на проведение ТОР требуют более четких и проработанных условий, так как в настоящее время между ОАО «РЖД» и собственниками подвижного состава возникают различные спорные ситуации, не прописанные в договоре, что способствует появлению скрытой дебиторской задолженности за выполненные ремонты вагонов.

Проведение вышеупомянутых мероприятий повысит конкурентоспособность предприятия и позволит гибко и оперативно реагировать на изменения рыночной конъюнктуры, что особенно актуально в предстоящей конкурентной борьбе на рынке ТОРа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Грузовой вагон на пространстве 1520 // Евразия Вести. -2012. -№10. -С. 11.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *текущий отцепочный ремонт, развитие конкурентной среды, методы ценообразования, прейскурант, конкурентные преимущества*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Аршба Людмила Николаевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Сапегин Алексей Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕТА ЗАТРАТ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

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

**И.Н. Спицына, А.Ю. Абраменко**

### **DEVELOPMENT OF MATERIAL COSTS ACCOUNTING UNDER MAINTENANCE AND REPAIRS OF MOTOR-RAILCAR ROLLING STOCK**

Siberian state transport university

I.N. Spitsyna, A.Yu. Abramenko

The paper proposes an improved structure of labour and material costs under current repairs and maintenance inspection of motor-railcar rolling stock. The method "Single Window" is considered for components and materials movement. New concepts «Virtual storeroom», «Condition», «Storing», «Storage» are introduced.

*Keywords: motor-car rolling stock, current repairs, maintenance inspection, virtual storeroom, costs accounting*

Предложена усовершенствованная структура формирования трудовых и материальных затрат на текущем ремонте и техническом осмотре моторвагонного подвижного состава. Рассмотрен принцип «Одного окна» при учете движения деталей и материалов, а так же введены новые понятия «Виртуальная кладовая», «Состояние», «Накопление» «Хранение».

В процессе регулирования финансовых взаимоотношений между региональными пригородными компаниями, территориальными органами ОАО «РЖД» и местными органами исполнительной власти необходимо решать вопросы связанные с корректностью и транспарентностью определения затрат на ремонт и обслуживание моторвагонного подвижного состава. В связи с этим актуальны исследования всех компонентов и составляющих частей расходов, предъявляемых ОАО «РЖД» пригородным компаниям. Для того, чтобы обеспечить формирование стоимости измерителей по реальным расходам железнодорожного транспорта, необходима автоматизация процесса сбора информации, агрегации и дезагрегации данных по местам возникновения затрат. Существующего информационного поля компании для этих целей не хватает, что и обусловило разработку ИАС «Пригород-ФИНАНС» [1]. Учет затрат трудовых ресурсов на единицу ремонта не является трудным с точки зрения алгоритмизации, а вот учет материалов усложняется тем что в процессе технического обслуживания моторвагонного подвижного состава используются как новые, так и восстановленные в процессе ремонта детали и материалы.

На основе анализа системы организации технического осмотра (ТО) и текущего ремонта (ТР) моторвагонного подвижного состава в ТЧ-32 и пилотной эксплуатации в январе-сентябре 2013 г. ИАС «Пригород-Финанс» разработаны алгоритмы учета материальных ценностей. В качестве среды моделирования принята интегрированная среда моделирова-

ния бизнес-процессов ARIS (Architecture of Integrated Information Systems), разработанная германской фирмой IDS Scheer. Выбор обосновывается совместимостью ARIS с SAP R/3.

В целях обеспечения единого подхода в организации оперативного учета затрат, определения ремонтпригодности приборов и деталей и принятия решения по их дальнейшему использованию, образующихся в процессе технического осмотра и ремонта моторвагонного подвижного состава, нами предложен принцип работы «Одного окна».

Реализация данного принципа становится возможна при добавлении к существующим функциям и понятиям новых терминов «Виртуальная кладовая», «Физическая кладовая», «Состояние», «Накопление», «Хранение».

Под «Виртуальной кладовой» понимаем базы данных по запасным частям, деталям, приборам, материалам, участвующими в процессе ТО и ТР, а также их состояние в соответствии с действующими регламентами и прејскурантами.

«Состояние» – наименование материальной ценности имеющей адрес снятия, наименование, идентификационный номер, цену (в различных ее модификациях включая стоимость ремонта, восстановления), место нахождения и адрес установки.

Под «Физической кладовой» понимаем место хранения абсолютно всех материальных ценностей участвующих в процессе ТО и ТР, и имеющих обязательно информацию о состоянии в базе данных «Виртуальной кладовой».

Функция «Накопления» отвечает за данные о том, куда в ожидании ремонта отправлена материальная ценность, с какого поезда и когда она снята.

Функция «Хранение» отвечает за информацию о материальной ценности в ожидании установки на поезд после ремонта или изготовления.

Учет движения деталей и материалов через «Виртуальную кладовую» и с использованием новых понятий представлены на схемах (рисунок 1-5).

Движение деталей отправляемых в ремонт за пределы вагонного депо начинается со снятия с



*Рисунок 1 – Учет движения деталей и материалов, отправляемых на ремонт в сторонние организации, с отображением в виртуальной кладовой*

поезда (заполняется форма ФМУ-95) о чем соответственно делается запись в «Виртуальной кладовой», а именно: дата снятия и номер поезда и куда отправлена деталь. Трудозатраты на снятие автоматически заносятся в калькуляцию. Номерные материальные ценности не требуют дополнительной идентификации, по ним фиксируется только дата снятия и номер поезда. Тем материальным ценностям, которые не являются номерными, создается уникальный идентификационный номер.

Отправка деталей и возврат из ремонта осуществляется материально-ответственным лицом и им же передается информация в базу данных «Виртуальной кладовой», а так же заполняются существующие формы М-2а, М-11. При отправке в ремонт в «Виртуальной кладовой» также фиксируется остаточная стоимость конкретной материальной ценности. Функция хранения материальных ценностей до установки на поезд осуществляется в «Физической кладовой», находящейся непосредственно в цехе ТО-3. В момент установки отремонтированной детали операция отображается в «Виртуальной кладовой», по цене с добавленной стоимостью ремонта материальной ценности. Затраты на ремонт (включающие транспортные расходы) плюс трудозатраты на установку, так же попадают в калькуляцию. Установка детали на поезд сопровождается заполнением формы ФМУ-76 и занесением адреса установки детали в «Виртуальную кладовую». Занесение данных об установке на поезд материальной ценности в «Виртуальную кладовую» свидетельствует о факте списания



детали или материала с материально-ответственного лица.



Рисунок 2 – Учет движения деталей и материалов, ремонтируемых непосредственно в депо, с отображением в виртуальной кладовой

Движение деталей ремонтируемых в самом депо имеет схожий алгоритм. Характерное отличие в том, что здесь больше количество материальных ценностей, имеющих не высокую стоимость, и по ним целесообразно вести количественный учет.



Рисунок 3 – Учет движения деталей и материалов, изготавливаемых вновь, с отображением в виртуальной кладовой

После снятия детали с поезда и принятия решения о ее списании в депо возможно изготовление детали собственными силами. После изготовления, через функции «Хранение» и «Физическая кладовая» материальная ценность попадает на поезд. Соответствующим образом заносятся данные в «Виртуальную кладовую» с последующим отражением в калькуляции, а так же заполняются необходимые формы учетных документов.

В случае, когда после снятия требуется установка новой детали, она поступает со склада депо через «Физическую кладовую» под материальную ответственность должностного лица и после установки на поезд списывается. Данные операции аналогичным образом отображаются в «Виртуальной кладовой» с учетом адреса установки и на них заполняются необходимые формы документов. Отображение в калькуляции происходит аналогично предыдущим схемам.

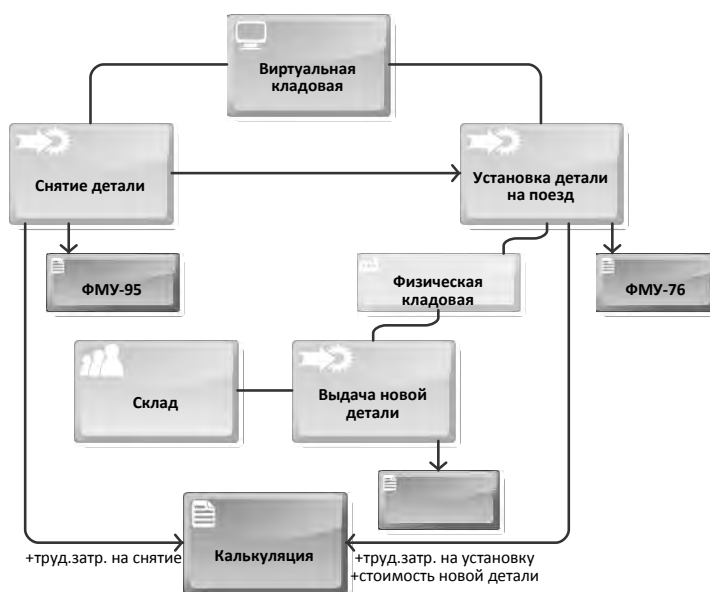


Рисунок 4 – Учет движения новых деталей и материалов, с отображением в виртуальной кладовой

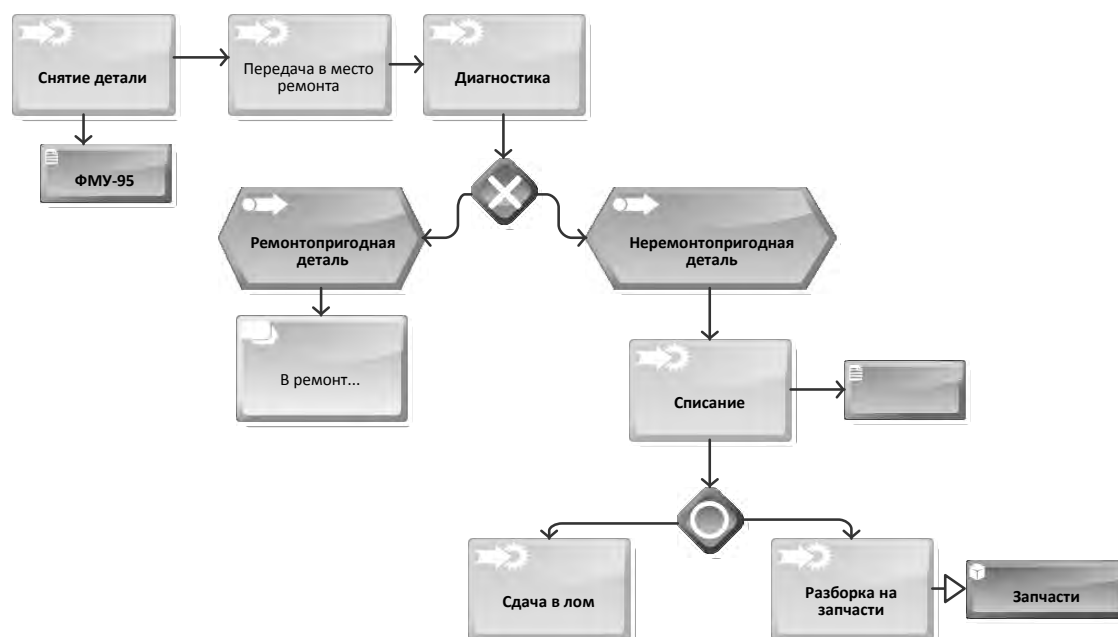


Рисунок 5 – Учет движения деталей и материалов, подлежащих списанию, с отображением в виртуальной кладовой

Принятие решение о ремонтпригодности детали происходит после ее передачи на место ремонта и диагностики, о чем в «Виртуальной кладовой» также делается отметка. После ремонта деталь возвращается в «Физическую кладовую» для дальнейшего ремонта (рисунки 1 и 2). В свою очередь списание осуществляется по двум вариантам: сдача в лом и разбор на запчасти.

В результате внедрения разработанной системы организации учета материальных затрат обеспечена достоверность их отражения в калькуляциях на ТО и ТР моторвагонного подвижного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лунина, Т.А. Проблемы возмещения затрат перевозчиков при организации пригородных перевозок / Т.А. Лунина // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№2. -С. 89-92.  
 2 Дементьев, А.П. Информационные технологии в системе управления затратами на предприятиях железнодорожного транспорта / А.П. Дементьев, И.Н. Спицына // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 97-100.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** моторвагонный подвижной состав, текущий ремонт, технический осмотр, виртуальная кладовая, организация учета затрат

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Спицына Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
 Абраменко Алексей Юрьевич, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

**ИНСТРУМЕНТАРИЙ УЧЕТА ИНФЛЯЦИИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАСХОДОВ НА ТОПЛИВО В ТРАНСПОРТНЫХ КОМПАНИЯХ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

К.В. Ятчук, Н.Н. Путилова

**INFLATION ACCOUNTING TOOLS IN THE PLANNING OF THE TRANSPORT COMPANIES SPENDING ON FUEL**  
 Novosibirsk state academy of water transport  
 K.V. Yatchuk, N.N. Putilova

The methods and sequence of the fuel price determination in the planning period are described, factoring in inflation; the expected price is calculated and the reliability of the result is shown.

Keywords: inflation, expert assessments, planning

Изложена методика и последовательность определения цены топлива в плановом периоде с учетом фактора инфляции, сделан расчет ожидаемой цены и показана достоверность полученного результата.

Планирование эксплуатационных расходов в современных условиях хозяйствования – это сложный, трудоемкий процесс, требующий обработки, анализа и осмысления большого количества информации. Нестабильность рынка транспортной продукции, постоянно меняющиеся цены на ресурсы, в том числе на топливо, неопределенность и неполнота информации об ожидаемой инфляции снижают эффективность планирования на предприятиях.

Учет факторов инфляции при разработке планов предполагает анализ динамики цен на топливо и вычисление темпа и индекса инфляции. Темп инфляции отражает обесценение денежных средств в рассматриваемом периоде и определяется отношением прироста среднего уровня цен в процентах к их начальному номиналу. Индекс инфляции характеризует общий уровень роста цен в рассматриваемом периоде.

Для судоходных компаний значимой составляющей эксплуатационных расходов являются расходы на топливо. На их долю приходится 50-60% прямых текущих затрат, относимых на перевозки, поэтому учет инфляционных факторов на рынке топливных ресурсов является необходимым условием планирования и обоснования транспортных расходов.

Предлагаемый методический инструментарий для планирования эксплуатационных расходов на топливо основывается на прогнозировании годового темпа и индекса инфляции.

Прогноз показателей интенсивности инфляции, в свою очередь, может быть сделан:

– на основе анализа показателей темпов и индексов инфляции в анализируемом периоде;

– исходя из соответствующих прогнозных оценок экспертов.

В таблице 1 представлены показатели, характеризующие инфляцию в России в 2005-2012 гг.

*Таблица 1 – Характеристика инфляции в России (на основе индексов потребительских цен, публикуемых Федеральной службой государственной статистики)*

Год	Годовая инфляция, %	Индекс инфляции	Коэффициенты-дефляторы по отношению к предыдущему году
2005	10,91	1,110	1,104
2006	9,00	1,090	1,132
2007	11,87	1,080	1,096
2008	13,28	1,070	1,081
2009	8,80	1,065	1,148
2010	8,78	1,060	1,295
2011	6,10	1,061	1,372
2012	6,58	1,066	1,494

При анализе и планировании инфляции необходимо учитывать, что индексы роста потребительских цен на товары и услуги и цен на топливо отличаются. Так, индекс потребительских цен на товары и услуги в 2011 г. составил 106,7%, в 2012г. – 106,9%, при этом индексы потребительских цен на дизельное топливо, соответственно – 114,6 и 109,0%, а индексы цен производителей дизельного топлива – 116,3% в 2011 г. и 111,2% в 2012 г., что значительно ниже потребительских цен на товары и услуги.

Ожидаемые показатели инфляции в плановом году могут быть определены на основе выявленного тренда годовых темпов и индексов в предшествующие годы, либо исходя из ожидаемых среднемесячных показателей инфляции.

Для определения тренда (тенденции) инфляционных процессов в анализируемом (базисном) периоде рассчитывается среднегодовой индекс изменения показателя инфляции

$$\bar{I}_{инф\ z}^{баз} = \sqrt[n-1]{\frac{p_n}{p_1}}, \quad (1)$$

где  $\bar{I}_{инф\ z}^{баз}$  – среднегодовой индекс инфляции (цен) в анализируемом (базисном) периоде;

$p_1$  – цена единицы продукции (дизельного топлива) в первом году анализируемого периода, руб.

$p_n$  – цена единицы продукции (дизельного топлива) в последнем году анализируемого периода, руб.

Если среднегодовой индекс роста цен больше 1, инфляция возрастает, если меньше 1 – снижается.

При условии относительной стабильности рынка можно предположить, что тенденция показателей инфляции сохранится в плановом периоде.

При использовании ожидаемого среднемесячного темпа инфляции годовой индекс и темп инфляции определяются по формулам:

$$\bar{I}_{инф\ э}^{пл} = \left(1 + \bar{T}_{инф\ м}^{пл}\right)^{12}; \quad (2)$$

$$\bar{T}_{инф\ э}^{пл} = \left(1 + \bar{T}_{инф\ м}^{пл}\right)^{12} - 1, \quad (3)$$

где  $I_{инф\ э}^{пл}$  – годовой индекс инфляции (цен) в плановом (ожидаемом) году;

$\bar{T}_{инф\ м}^{пл}$  – ожидаемый среднемесячный темп инфляции в плановом году.

При наличии инфляции меняется стоимость денежных средств, идущих на оплату поставок топлива. Расчет будущей стоимости денежных средств с учетом инфляционной составляющей зависит от среднемесячного темпа инфляции и месяца оплаты поставки.

$$I_{инф}^{пл} = \sum_{k=1}^K I_k \bar{T}_{инф\ м}^{пл} n_k, \quad (4)$$

где  $I_{инф}^{пл}$  – годовые расходы на топливо с учетом инфляционной составляющей, руб.

$I_k$  – стоимость  $k$ -ой партии топлива с учетом цены на начало планового периода, руб.

$n_k$  – количество месяцев с начала планового периода до месяца оплаты  $k$ -ой партии топлива.

Кроме того, при дефиците денежных средств у предприятия возникнет потребность в текущем кредите для оплаты поставок топлива. В банковской ставке по кредитам также учитывается инфляционная составляющая, что естественно отразится на текущих расходах транспортной компании.

С методической точки зрения, правомерно использовать для расчета изменения цен в анализируемом периоде, как цепные индексы, так и темпы роста цен в рядах динамики.

Для определения уровня цен на топливо в плановом периоде целесообразно также использовать экспертные оценки, особенно в условиях нестабильной рыночной конъюнктуры и неопределенности инфляционных процессов.

Нами был сделан анализ динамики цен на дизельное топливо в 2012 году [1]: рассчитаны и проанализированы месячные индексы изменения цены (см. таблицу 2) и на основе полученной информации определен ожидаемый ценовой диапазон в 2013 г.

В анализируемом периоде (2012 г.) цена на топливо изменилась с 27,71 до 30,19 тыс. руб./т.

Исходя из полученных значений среднего и общего индексов изменения цены был определен диапазон цен в плановом периоде – от 30,400 тыс. руб./т (≈30,19×1,0079) до 32,90 тыс.руб./т (≈30,19×1,0895) и сделано ранжирование ожидаемых цен с интервалом 0,5 тыс. руб./т. Привлеченные эксперты оценили степень вероятности ожидаемых цен, присвоив каждой цене соответствующий ранг (балл) от 1 до 6. При этом наиболее вероятной цене присваивался ранг, равный 1. Подробно предлагаемая методика определения цены на топливо в плановом периоде с использованием экспертных оценок изложена авторами в статье [2].

Оценки экспертов относительно уровня ожидаемой цены на топливо были сведены в таблицу 3 и сделан расчет коэффициента конкордации (K), характеризующего согласованность мнений экспертов.

*Таблица 2 – Индексы изменения цены на топливо в 2012 г. (средний индекс изменения цены – 1,0079; общий индекс изменения цены – 1,0895)*

Месяц	Цена, тыс. руб./т	Цепной индекс изменения цены
Январь	27,71	–
Февраль	27,92	1,0076
Март	27,94	1,0007
Апрель	27,93	0,9996
Май	27,98	1,0018
Июнь	28,03	1,0018
Июль	28,03	1,0000
Август	28,03	1,0000
Сентябрь	28,35	1,0114
Октябрь	28,89	1,0190
Ноябрь	29,53	1,0222
Декабрь	30,19	1,0224

$$K = \frac{12 \sum_i (x_i - \bar{x})^2}{m^2 (n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 204}{4^2 (6^3 - 6)} = 0,73, \quad (5)$$

где  $i$  – индекс цены;  
 $x_i$  – ранг  $i$ -ой цены (балл);  
 $m$  – количество экспертов;  
 $n$  – количество значений возможных цен в рассматриваемом ценовом диапазоне;

*Таблица 3 – Матрица оценок экспертов (рангов)*

Ожидаемая цена дизельного топлива, руб./т	Баллы экспертов				Сумма баллов (рангов)	Средний балл $\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$
	1 эксперт	2 эксперт	3 эксперт	4 эксперт				
30400	5	6	5	6	22	–	8	64
30900	2	3	4	1	10	–	-4	16
31400	1	2	1	3	7	–	-7	49
31900	4	1	2	2	9	–	-5	25
32400	3	5	3	4	15	–	1	1
32900	6	4	6	5	21	–	7	49
Сумма рангов	21	21	21	21	84	14	–	204

Значение коэффициента конкордации  $0 < 0,73 < 1$  находится в пределах от 0 до 1. При полном совпадении оценок экспертов коэффициент конкордации равен 1, при полном несовпадении – 0. Полученное значение 0,73 свидетельствует о достаточно высокой согласованности мнений экспертов.

Чтобы исключить случайность совпадения мнений, была сделана оценка значимости коэффициента конкордации по критерию согласия «хи-квадрат» с числом степеней свободы  $(n - 1)$ . В нашем случае  $(n - 1) = 6 - 1 = 5$ . Расчетное значение равно

$$\chi^2 = \frac{204}{\frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 6(6 + 1)} = 14,6. \quad (6)$$

Табличное значение существенности показателя  $\chi^2$  для уровня значимости 2% и числа степеней свободы 5 равно 13,39, что меньше расчетного – 14,6. Таким образом, можно утверждать, что с вероятностью 98% совпадение мнений экспертов не является случайным, и, следовательно, при планировании расходов на топливо в 2013 г. было рекомендовано использовать цену с наименьшей суммой рангов, то есть 31400 руб./т.

Для оценки обоснованности данной цены и практической значимости предлагаемого метода учета инфляции в планировании расходов было сделано сравнение расчетной цены и фактических цен на топливо в 2013 г. Опубликованные данные цен на дизельное топливо по месяцам 2013 г. [1] свидетельствуют о высокой точности прогноза уровня цен и целесообразности применения рассматриваемого инструментария для учета инфляции в процессе планировании текущих затрат на топливо. В октябре 2013 г. средний уровень цен на дизельное топливо в России составил 30,94 тыс.руб./т, в ноябре – 31,30 тыс. руб./т, наш прогноз – 31,4 тыс. руб./т.

Таким образом, при планировании расходов на топливо необходимо учитывать фактор инфляции. В результате возрастет достоверность, обоснованность и эффективность планирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Петрол Плюс Регион [Электронный ресурс]. -Режим доступа: www.petroplus.ru.  
 2 Ятчук, К.В. Применение экспертных оценок в планировании эксплуатационных расходов по топливу на перевозках / К.В. Ятчук, Н.Н. Путилова // Современные тенденции функционирования и развития транспортного комплекса Сибири: сб. науч. тр. / ФБОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. вод. трансп.» -Новосибирск, 2012. -С. 108-112.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** планирование, инфляция, экспертные оценки  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ятчук Кристина Васильевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Путилова Наталья Николаевна, канд. экон. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**УНИФИКАЦИЯ УПРАВЛЕНИЙ В АГРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт  
электрификации сельского хозяйства РАН сельскохозяйственных  
наук

**В.А. Королев**

**UNIFICATION OF ADMINISTRATIONS OF  
IN AGRICULTURAL SYSTEMS**

All-Russian scientific-research institute for electrification of agriculture

V.A. Korolev

Considered are the possibilities of hardware and software unification of devices and control algorithms in farming systems.

*Keywords: agrotechnocenosis, modeling, control algorithm, unification*

Рассмотрены возможности обеспечения аппаратной и программного унификации устройств и алгоритмов управления в агротехнических системах.

Агротехнические системы или агротехноценозы (АТЦ) – сложные открытые диссипативные системы, ограниченные в пространстве и времени, непрерывно изменяющиеся, функционирующие в единстве с внешней средой в климатических и почвенных условиях конкретного региона и объединяющие структуры природного происхождения (биоценозы) и технические устройства (техноценозы). Процессы производства в АТЦ, в том числе, процессы самоорганизации, требуют затрат (ввода) материальных ресурсов, энергии, информации [1].

При исследованиях, выборе эффективных управлений процессами создаются модели АТЦ. Эти модели при реализации конкретных задач производства должны обеспечивать генерацию значений множеств контрольных параметров технологических процессов на всех стадиях вегетации растений; учитывать технологические особенности АТЦ, их систем технической реализации, влияние почвенно-климатических условий; сравнивать виды (сорты, культура, гибриды) растений по продуктивности и качеству; прогнозировать продуктивность растений и качество урожая, определять зависимость их от управляемых процессов; обеспечивать максимальное использование природных источников энергии (эксэргии солнечного излучения, водного потенциала и т.д.); предлагать упреждающие управления и прогнозировать последствия их действий; оценивать расход энергетических, сырьевых и материальных ресурсов, учитывать действия случайных внешних возмущений, разнообразных климатических и почвенных условий и реализуемой стратегии формирования урожая [1, 2].

К настоящему времени созданы ряд моделей агропроизводства (МА), имеющих свою специфику и структуру под конкретные цели и задачи разработчиков и во многом удовлетворяющие перечисленным требованиям. Сформировались несколько научных школ. Подходы к созданию, методологические аспекты построения МА, как правило, оценочных, прогнозных, не одинаковы и, часто, неординарны [5]. На наш взгляд перспективна и жизнеспособна гипотеза о том, что закономерности роста и развития растений обладают свойством оптимальности, ресурсо-, энерго- и информационной экономности [1]. Эта предпосылка во многих случаях позволяет эффективно построить модель агроэкосистемы, закладывая в модель алгоритмы в виде решения некой обобщенной задачи оптимального управления, где в качестве функционала цели выступает интегральная репродуктивная мощность растительного организма.

На практике при адаптации разработанных МА (главное условие их применимости к другим условиям – различные регионы, техпроцессы и т.д.) возникают проблемы модификации структуры модели, доработки ее блоков, включения новых блоков, согласования практических целей пользователя, определения нужной агрометеорологической информации и параметров. При решении этих задач важно выбрать или сформировать: входные и выходные параметры; структуру модели изучаемого объекта (системы); критерий качества идентификации; алгоритм идентификации; критерии и методы верификации модели. Также важен верный выбор точки отсчета.

Модели АТЦ очень сложно формализовать, поэтому, практически не снижая точности результатов, для упрощения задачи моделирования и выбора управлений в подобных системах применяют модульный принцип построения: описывая системы для получения нужного конечного результата, их разбивают на находящиеся в сложном взаимодействии друг с

другом и обменивающиеся ресурсами, энергией и информацией составные части. При рассмотрении АТЦ, как объекта управления, степень детализации является уровень отдельных компонентов его техноценоза и уровень соответствующих процессов, для которых они используются. Общесистемная модель – совокупность моделей компонентов и процессов вегетации растений. Данное допущение приемлемо, так как в АТЦ при возделывании растений необходимо выполнять определенную последовательность технологических операций, например, подготовка почвы, посадка растений, обслуживание различных стадий их вегетации (полив, внесение удобрений, уничтожение сорняков и вредителей и др.). Эти технологические операции, хотя и взаимосвязаны технологией возделывания растений, друг на друга влияют опосредованно и незначительно, отображаются и реализуются через управляющие воздействия.

При моделировании процессов в АТЦ целесообразно прогнозировать изменения контролируемых характеристик, что позволит реализовать потенциально возможную продуктивность растений в существующих условиях их возделывания конкретной природно-климатической зоны, сократить затраты материально-технических ресурсов и определить физиологически и экономически целесообразные моменты воздействий на процесс выращивания конкретной партии растений в физиологически и экономически целесообразной последовательности операций управления. Согласно [1, 3, 4] можно утверждать, что построение, изменение, преобразование и развитие процессов и технических систем АТЦ подчиняется объективным закономерностям, подобным по структуре и взаимодействиям в природных структурах (биоценозах). Управление должно позволить реализовать в течение всего периода развития растений внутренние ресурсы адаптации и борьбы растений, поэтому учет этих закономерностей важен. Подобно большинству физических, химических, биологических и других процессов, при протекании самоорганизующихся процессов в АТЦ изменение внешних воздействий и характеристик растений во времени, как правило, инерционных, можно описать стандартными математическими функциями (линейной, экспоненциальной, гармонической, технического оптимума) или скомпоновать из участков, на которых изменения контролируемых характеристик описываются этими функциями. Законы изменения функциональных параметров и параметров управления техническими компонентами АТЦ будут аналогичны. Применительно к техническим устройствам, в частности, к электрическим машинам подход, основанный на использовании стандартных математических функций для описания изменения во времени потокоцепления в воздушном зазоре или других параметров электрической машины, реализован достаточно эффективно при решении задач управления и проектирования электромеханических преобразователей энергии [8, 9].

Учитывая это, можно оперативно при выполнении технологических процессов прогнозировать изменение параметров и характеристик агросистемы, а, используя прогнозные зависимости, прогнозировать и унифицировать алгоритмы управления процессами и устройствами АТЦ. При этом, поскольку самоорганизующийся процесс является реакцией и приспособлением структур АТЦ к изменяющимся условиям внешней среды, режимам работы, управляющим воздействиям, можно в сложной многофакторной агросистеме «растение – факторы окружающей среды – управляющие устройства» факторы, воздействующие на растения извне (интенсивность солнечного излучения, температура, влажность воздуха и др.), воздействия, изменяя которые можно воздействовать на технологические процессы и на растения (управляющие воздействия, изменяющие режимы работы технических устройств) отнести к управлениям и разбить их на три группы: типовое управление, внешнее управление, корректирующее управление.

В качестве типового управления принимаем практически не изменяющееся или изменяющееся незначительно длительный период эксплуатации по составу, параметрам и последовательности технологических операций жесткое управление, реализуемое согласно технологическому регламенту процессов, в качестве внешнего управления – самоорганизующиеся неуправляемые (за исключением технологических процессов тепличного растениеводства) возмущения окружающей среды (почвенно-климатические условия, солнечное излучение), в качестве корректирующего управление – управление техническими устройствами АТЦ для реализации поставленных задач обеспечения высокоэффективного производства.

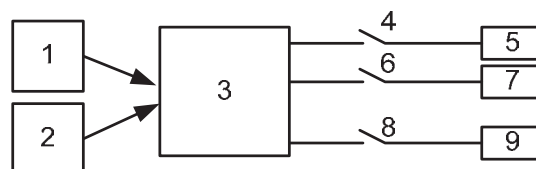
При конкретном внешнем управлении и идеальном по требованиям высокоэффективного производства типовом управлении достаточно реализовать типовое управление для по-

лучения наилучшего результата. Однако на практике внешнее управление может ухудшать условия вегетации растений, а типовое – быть недостаточным для обеспечения необходимых условий высокоэффективного производства, и тогда для улучшения этих условий применяют корректирующее управление с привлечением дополнительных ресурсов. Корректирующее управление – это оперативное управление в режиме реального времени без неадекватного запаздывания, так как задержка управления по времени может ограничить процессы положительного изменения характеристик растений, функциональных и технических параметров агросистемы в целом и сделать управление неэффективным. Парадигма корректирующего управления агросистемами предполагает реализацию интеллектуального управления, как реакцию на возникающие в ходе выполнения технологических процессов отклонения параметров и характеристик этих процессов, а также устройств их реализации, от требуемых значений и на нештатные ситуации. Это – управление, инициированное объективной необходимостью устранения возникающего в процессе возделывания растений несоответствия контролируемых функциональных и технических характеристик агросистемы и её составляющих элементов области допустимых значений, тенденций устойчивой динамике их изменения, могущих привести к такому несоответствию, поиск наилучшей стратегии по отношению к цели и задачам управления.

Выбор корректирующего управления может быть выполнен следующим образом. В ходе возделывания растений из большого числа переменных процесса индивидуально в зависимости от вида (сорта, гибрида) растений, стадий их вегетации, реализуемой технологии, условий функционирования и т.п. в режиме реального времени выделяют и фиксируют значения наиболее информативных переменных процесса: характеристики растений (эксергия оптического излучения в отношении фотосинтеза растений, их продуктивность, качество, внешний вид, состав, структура, размеры, масса либо др.), параметры типового и внешнего управлений – параметры условий функционирования (температура и влажность воздуха, влажность и минеральный состав почвы, наличие органических удобрений и др.); параметры и характеристики технических устройств (производительность, ток, потребляемая мощность, частота вращения и др.), за исключением параметров корректирующего управления. Принимают, что изменения контролируемых переменных процесса происходят по перечисленным выше зависимостям. Используя информацию об изменении контролируемых переменных до момента осуществления их контроля, выбирают, какая из этих зависимостей может наиболее точно описать изменение контролируемых характеристик.

Согласно выбранным зависимостям производят прогноз изменения контролируемых переменных и выбирают прогнозные сценарии изменения характеристик растений и агросистемы в целом, для этого, используя базу ретроспективных данных о реализациях аналогичных процессов, экстраполируют полученные зависимости на перспективу. Рассчитывают эксергию оптического излучения в отношении фотосинтеза растений и, если с точки зрения получения потенциально возможной продуктивности растений, устойчивости и эффективности технологических процессов с учетом прогноза изменения условий функционирования, типовое управление не обеспечивает адаптации к изменяющимся условиям и полной мобилизации ресурсов растения при высоких технико-экономических показателях, выбирают законы изменения переменных корректирующего управления для достижения этих целей.

Через заданные интервалы времени оценивают сходимость прогнозов изменения реальных и теоретических значений контролируемых переменных, при этом, если значения каких-либо контролируемых переменных (одной или нескольких), посчитанных по прогнозирующей зависимости, отличаются от реальных значений этих переменных, производят корректировку прогнозирующих зависимостей и законов изменения воздействий корректирующего управления до тех пор, пока сходимость прогнозов изменения контролируемых переменных не будет удовлетворительной, причем корректировку прогнозирующих зависимостей



*Рисунок – Структурная схема устройства управления дискретными электротехническими системами: 1-блок средств управления ходом технологического процесса; 2-блок участков рабочего цикла; 3-управляемый коммутатор; 4, 6, 8-средства управления ходом технологического процесса; 5, 7, 9-входы рабочих технологических устройств электротехнической системы*



и законов изменения воздействий корректирующего управления осуществляют итерационными изменениями конечных значений управляемых переменных.

Структурная схема устройства реализации согласно описанной последовательности действий показана на рисунке.

Рассмотренная последовательность формализации алгоритма управления дискретными электротехническими системами применена на конкретных объектах [10].

Использование предлагаемых способов прогнозирования переменных процессов в агротехнических системах, формализации алгоритмов управления и структур соответствующих им устройств технической реализации позволит повысить эффективность функционирования агротехнических систем, существенно сократит затраты времени и труда при создании и внедрении новых устройств управления оборудованием и устройствами различного назначения и применения. При разработке устройств управления дискретными электротехническими системами не требуется высокая квалификация разработчиков, системы управления для различных устройств и применений имеют одинаковые структуры, алгоритм работы и отличаются количеством и типами средств управления ходом технологического процесса и циклограммой работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Свентицкий, И.И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации / И.И. Свентицкий. -М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. -468 с.
- 2 Свентицкий, И.И. Инновационные положения управления высокоэффективными (точными) агротехнологиями / И.И. Свентицкий, В.А. Королев // Вестн. ФГОУ ВПО МГАУ им. Горячкина» / ФГОУ ВПО МГАУ. -М., 2007. -№2(22). -С. 22-23.
- 3 Кудрин, Б.И. Античность, символизм, технетика / Б.И. Кудрин. -М.: Электрика, 1995.
- 4 Кудрин, Б.И. Классика технических ценозов. Общая и прикладная ценология. Ценологические исследования. Вып.31. / Б.И. Кудрин. -Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 2006. -220 с.
- 5 Пат. 2350068 RU. Способ и устройство автоматического управления производственным процессом растений с учетом самоорганизации / Свентицкий И.И., Королев В.А., Алхазова Е.О. -Опубл. 2009, БИ №9.
- 6 Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) «Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы», 14-15 октября 2010 г., Санкт-Петербург. -СПб.: АФИ, 2010. -288 с.
- 7 Загорский, А.Е. Исследование динамических характеристик электрических машин автономной неразветвленной системы электроснабжения / А.Е. Загорский, В.А. Королев // Электротехника. -1981. -№6. -С. 8-11.
- 8 Загорский, А.Е. Оптимизация динамических режимов регулируемых электрических машин / А.Е. Загорский, В.А. Королев // Электричество. -1988. -№9. -С. 65-69.
- 9 Королев, В.А. Электрифицированные растениеводческие системы. Самоорганизация и управление / В.А. Королев // Материалы международной научно-практической конференции «Научное обеспечение развития агропромышленного комплекса стран таможенного союза» 8-9 апреля 2010 г., Астана. -2010. -Т.1: Земледелие. Растениеводство. Механизация и переработка сельскохозяйственной продукции. -С. 274-278.
- 10 Бойко, А.Я. Модернизация системы автоматизации оборудования промывки емкостей для хранения молока / А.Я. Бойко, В.А. Королев // Энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 5 Междунар. науч-техн. конф. (16-17 мая 2006 г., Москва) / ВИЭСХ. -М., 2004. -Ч.3. -С. 112-115.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *агротехноценоз, моделирование, алгоритм управления, унификация*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Королев Владимир Александрович, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *109456, г.Москва, ул.1-ый Вешняковский проезд, 2, ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии*

## СОЗДАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО БЛОКА ГИС ОБСКОГО БАСЕЙНА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Шамова, С.В. Волчатникова

### CREATION OF THE GIS CARTOGRAPHICAL BLOCK OF THE OB POOL

Novosibirsk state academy of water transport

V.V. Shamova, S.V. Volchatnikova

Creation of a cartographical basis of GIS of the Ob pool is necessary for water resources management. The structure of a database includes system of electronic maps. Basin approach to water management division into districts is used. The territory of the Ob pool is represented in the form of the cascade topological system including reservoirs of a different order, united among themselves a river network. Reservoirs of the small rivers of the city of Novosibirsk by means of electronic maps are investigated. The qualitative analysis of tests of ground deposits on the following indicators is made: oil products, nickel, zinc, lead, copper.

*Keywords: geoinformation system, river pool, reservoir, electronic maps, analysis, water management division into districts*

Создание картографической основы ГИС Обского бассейна необходимо для управления водными ресурсами. Структура базы данных включает систему электронных карт. Используется бассейновый подход к водохозяйственному районированию. Территория Обского бассейна представляется в виде каскадной топологической системы, включающей водосборы разного порядка, объединенные между собой речной сетью. Исследуются водосборы малых рек города Новосибирска с помощью электронных карт. Выполняется качественный анализ проб донных отложений на следующие показатели: нефтепродукты, никель, цинк, свинец, медь.

Применение информационных и геоинформационных технологий на внутренних водных путях и воднотранспортных объектах имеет широкий спектр применения.

Создание картографической основы ГИС Обского бассейна необходимо для управления водными ресурсами, предназначено для решения задач контроля за состоянием и качеством вод, изменяющихся в результате производственной и бытовой деятельности человека, анализа данных по водопотреблению и водоотведению, прогноза качества воды и др.

Надежность картографирования гарантируется тем, что бассейн -региональная геосистема, легко выделяемая на карте и на местности, и его границы хорошо прослеживаются по топографическим и гипсометрическим картам.

В структуре картографической базы данных ГИС Обского бассейна предполагается система взаимосвязанных сопряженных карт, включая общую характеристику бассейна (географическое положение, политико-административное деление, гипсометрическое положение, строение бассейна, водосборов, соответствующих порядкам рек. В базу данных ГИС должен входить: природный потенциал водных ресурсов (гидрологические, гидрофизические, гидрохимические, гидробиологические, гидрологоморфологические характеристики, запасы водных ресурсов и их балансы и др.). Особо важным для экологических ГИС – проектов является информация по антропогенному воздействию (использование земель водосбора, демографическое давление, водопотребление и водопользование, гидротехнические сооружения, загрязнение вод и др.).

В работе используется бассейновый подход к водохозяйственному районированию. Вся территория Обского бассейна представляется в виде каскадной топологической системы, состоящей из малых водосборов любого порядка, объединенных между собой речной сетью. Основной принцип методологии водохозяйственного бассейнового районирования заключается в наложении показателей водохозяйственной деятельности в крупном речном бассейне на иерархическую структуру элементарных водосборов, слагающих этот бассейн. Первоначально исследуются водосборы малых рек города Новосибирска. В правобережье их восемь: Зырянка, Ельцовка, Иня, Камышенка, Плющиха, Каменка, Ельцовка 1-я, Ельцовка 2-я; в левобережье одна – Тула. Для всех рек, протекающих в городской черте, характерно: одинаковое направление течения – с северо-востока на юго-запад (кроме Тулы); короткие и маловодные; имеют одинаковый гидрологический режим; слабовыраженные водоразделы и глубокооврезанные русла; небольшие уклоны и падение; из 8 рек правобережья – 6 пересекают железную дорогу Алтайского направления; самые значительные мостовые переходы и путепроводы сооружены над реками Иня, Каменка, Ельцовка; остальные реки протекают под насыпью железных дорог по трубе.

Для водосборов малых рек разрабатываются электронные карты, включающие физико-

географическую, гидрологическую информацию, сведения характеристиках ландшафта и др. Производится сбор атрибутивных данных, составляются таблицы, привязанные к картографической информации. Для каждого водосбора создаются буферные зоны и с помощью математического аппарата программы MapInfo выбираются находящиеся в них объекты. Производится анализ их воздействия на исследуемый водоток.

Кроме того, выполняется анализ состояния воды в реке Обь в различных створах по длине. Летом 2013 года была выполнена оценка донных отложений в нижнем течении реки Обь на территории Тюменской области Ямало-Ненецкого автономного округа. Объектом исследования являлась р. Обь в нижнем ее течении на предмет качества донных отложений в июне-августе, в период летнего половодья и летне-осенней межени.

Пробы донных отложений отбирались в трех точках в районе населенных пунктов: с. Мужы (протока Малая Обь), с. Шурышкары (протока Малая Обь), д. Хошгорт (протока Большая Обь), с. Катравож (р. Обь), г. Салехард (р. Обь), г. Лабытнанги (р. Обь), п. Аксарка (р. Обь). При условии, если населенный пункт расположен на притоке р. Обь, проба отбиралась в районе устья этого притока. Пробы отбирались из поверхностного слоя на глубине 5-10 см.

Качественный анализ проб донных отложений производился на следующие показатели: нефтепродукты, никель, цинк, свинец, медь.

Основным источником загрязнения поверхностных вод и, следовательно, донных отложений на исследуемом участке р. Обь является водный транспорт (так как является основным видом сообщения в рассматриваемом регионе).

Кроме того, донные отложения, постепенно переносимые течением с к устью р. Обь, являются аккумуляторами тяжелых металлов на протяжении длительного периода времени и являются источниками вторичного загрязнения.

*Оценка загрязнения тяжелыми металлами.* Согласно выполненным исследованиям, в д. Хошгорт и с. Катравож превышений ПДК по тяжелым металлам (по исследуемым показателям) не обнаружено.

В с. Мужы и с. Шурышкары обнаружено незначительное превышение по меди в июне-июле, содержание меди в августе оказалось близким к значению ПДК (норма).

В п. Аксарка наблюдалось превышение ПДК по меди (2,0-2,8 ПДК) в июле и августе.

В г. Салехард и г. Лабытнанги наблюдается наибольшее загрязнение тяжелыми металлами по сравнению с другими участками исследования.

Сводная информация по величинам концентраций загрязняющих веществ в пробах донных отложений превышающих ПДК приведена в таблице 1.

*Таблица 1 – Сводная информация по величинам концентраций загрязняющих веществ в пробах донных отложений относительно ПДК (превышение)*

Название объекта	Концентрация ЗВ относительно ПДК (по месяцам)		
	июнь	июль	август
с. Мужы	медь – 1,1 ПДК	медь – 1,2 ПДК	–
с. Шурышкары	медь – 1,1 ПДК	медь – 1,1 ПДК	–
г. Салехард	медь – 6,0 ПДК цинк – 3,8 ПДК	медь – 6,2 ПДК цинк – 4,0 ПДК	медь – 3,0 ПДК цинк – 3,7 ПДК
г. Лабытнанги	медь – 4,2 ПДК цинк – 2,9 ПДК	медь – 4,0 ПДК цинк – 3,2 ПДК	медь – 4,1 ПДК цинк – 1,1 ПДК
п. Аксарка	–	медь – 2,8 ПДК	медь – 2,0 ПДК

*Оценка загрязнения нефтепродуктами.* Для

оценки загрязненности почв и донных отложений нефтепродуктами нормативы ПДК отсутствуют. В связи с этим, величина содержания нефтепродуктов в донных отложениях была сравнена между всеми исследуемыми объектами и из них выявлена наибольшая.

*Таблица 2 – Содержание нефтепродуктов в пробах донных отложений*

Название объекта	Концентрация нефтепродуктов, мг/кг (по месяцам)		
	июнь	июль	август
д. Хошгорт	4,13	6,22	5,70
с. Катравож	8,01	10,2	7,10
с. Мужы	8,44	5,99	6,21
с. Шурышкары	5,15	6,44	6,31
г. Салехард	112,00	114,00	79,00
г. Лабытнанги	85,00	64,00	70,00
п. Аксарка	7,19	8,09	8,10

Кроме того, на исследуемых объектах были отобраны пробы поверхностной воды, и проведен анализ на нефтепродукты, чтобы оценить потенциальный уровень загрязнения.

Содержание нефтепродуктов в пробах донных отложений приведено в таблице 2.

По данным таблицы 2, наибольшее содержание нефтепродуктов обнаружено в донных отложениях р. Обь около г. Салехард и г. Лабытнанги, что объяснимо постоянным крупным потоком водного транспорта. В остальных населенных пунктах концентрации нефтепродуктов в донных отложениях примерно одинаковы.

При оценке проб воды поверхностной в р. Обь обнаружена повышенная концентрация нефтепродуктов в районе с. Катравож (2 ПДК), г. Салехард (16 ПДК), г. Лабытнанги (14 ПДК), п. Аксарка (10 ПДК).

Еще более значимое превышение ПДК нефтепродуктов в поверхностной воде р. Обь наблюдается относительно фоновых концентраций: с. Катравож (4,4 ПДК), г. Салехард (38 ПДК), п. Аксарка (16 ПДК).

Таким образом, можно сделать вывод, что донные отложения р. Обь в районе административного центра ЯНАО – г. Салехард подвержены наиболее сильному загрязнению тяжелыми металлами и нефтепродуктами; г. Лабытнанги, расположенный напротив г. Салехард (на другом берегу) также является дополнительным источником загрязнения.

Превышение ПДК по меди в с. Мужи и с. Шурышкары может быть обусловлено сезонным колебанием уровней воды, аналогичные процессы наблюдаются и в среднем течении р. Обь.

Донные отложения п. Аксарка страдают от загрязнения из-за возможного влияния г. Салехард, расположенного выше по течению, а также вследствие собственных источников загрязнения от поселка.

Схема расположения участка исследования и градация загрязнения показана на рисунке.

Приведенные исследования в дальнейшем будут включены в атрибутивные характеристики ГИС-проекта Обского бассейна для выполнения оценки антропогенного воздействия на водные ресурсы и качества вод.

Это позволит перевести систему оценки и управления водными ресурсами и качеством вод на современный информационный уровень с учетом реальных возможностей действующей системы контроля в области природопользования.



Рисунок – Схема расположения участка исследования и градация загрязнения

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геоинформационная система, речной бассейн, водосбор, электронные карты, анализ, водохозяйственное районирование

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Шамова Вера Васильевна, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГавТ»  
Волчатникова Светлана Владимировна, аспирант ФБОУ ВПО «НГавТ»

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

## ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ШПУНТА МЕТОДОМ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ

ООО «Трест Запсибгидрострой»  
ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.И. Бик, А.Ш. Бройтман

### PROTECTION AGAINST CORROSION OF THE METAL SHEET PILING METHOD REFINISHING

Trust Zapsibgidrostroy  
Novosibirsk state academy of water transport  
Yu.I. Bik, A.Sh. Broymtan

Modern means of protection of metal structures of berthing constructions, used in practice of hydraulic construction in LLC «Трест Запсибгидрострой» presented in the conditions of Western Siberia and the Far North.

*Keywords: corrosion of a metal sheet piling, corrosion protection, paint coating*

Современные средства защиты металлоконструкций причальных сооружений, применяемых на практике гидротехнического строительства в ООО «Трест Запсибгидрострой» в условиях Западной Сибири и Крайнего Севера.

Одной из основных причин разрушения металлоконструкций причальных сооружений, является коррозия, наносящая ущерб экономике. Из-за коррозии исходная надежность элементов и всего сооружения в целом уменьшается во времени, и они могут разрушаться до истечения нормального эксплуатационного срока.

Практика гидростроительства показала, что более 50% сооружений в мире построено из стальных шпунтовых свай, поэтому почти все исследования по коррозии и долговечности металлических конструкций сосредоточилась на сооружениях из стальных шпунтовых свай [1].

Антикоррозионная защита стальных гидротехнических сооружений представляет собой особую задачу из-за специфических условий эксплуатации:

- высокие коррозионные нагрузки, особенно, в солёной воде и на границе вода-воздух;
- высокие механические нагрузки (стирающие и ударные), возникающие из-за воздействия льда, песка, гальки;
- требование длительного срока службы ввиду сложности ремонта и больших экономических потерь из-за временного прекращения эксплуатации сооружений для ремонта.

Коррозийный процесс в атмосферных условиях обусловлен воздействием тонкой пленки влаги, образующейся на поверхности металла. При понижении температуры происходят конденсация водяных паров и осаждение их на поверхности в виде капелек воды. Они могут образовать сплошную пленку.

Процесс коррозии сопровождается образованием гидрофильных оксидов железа, которые способствуют увеличению «влагоудержания» металла, что, в свою очередь, приводит к катализации разрушительного процесса, и, таким образом, скорость процесса коррозии увеличивается.

На скорость коррозии оказывает влияние целый ряд факторов, основными из которых являются продолжительность увлажнения, наличие абразивных частиц, воздействие агрессивных факторов, степень аэрации, скорость потока.

Степень будущего воздействия коррозии на сооружение определяется уже на стадии его проектирования и конструирования, в процессе выбора проектных и конструкторских решений, учитывая в дальнейшем нанесение лакокрасочного покрытия (далее ЛКП), которое сочетает в себе гидрофобность, водоотталкивание, низкие газо- и паропроницаемость, технологичность в применении и возможность получения различных декоративных эффектов.

Изолирующее покрытие не изменяет характера коррозионного процесса на поверхности металла, является барьером на пути влаги и кислорода, поэтому естественно, что защитное действие покрытия зависит от природы окрашиваемого металла, свойств наносимого на поверхность лакокрасочного материала и качества получаемого покрытия (толщины слоя, проницаемости, адгезии, способности набухать в воде и т.д.).

Существенное влияние на защитные свойства оказывает тип пленкообразователя. Так, масляные пленки и пленки вододисперсионных материалов сильно поглощают влагу, набу-

хают и размягчаются. Синтетические пленкообразователи и глубокоосшитые пленки значительно более устойчивы.

Гладкие лакокрасочные покрытия менее пористы, проникновение влаги в них происходит в основном за счет диффузии. Для снижения смачиваемости покрытия иногда защищают восковыми или кремнийорганическими составами.

Важным свойством многих лакокрасочных покрытий является высокое удельное *электрическое сопротивление пленок. Это препятствует или сильно затрудняет перенос ионов в электролите, то есть тормозит протекание электрохимического процесса.* Под действием влаги электрическое сопротивление может резко уменьшаться.

Существующие нормы проектирования ГТС в РФ *не предусматривают запасов* на коррозию в стальных несущих элементах ГТС, полагаясь на эффективность их антикоррозионную защиту в течение всего расчетного периода эксплуатации сооружения. Однако, многочисленные комплексные обследования показали следующее – коррозионный износ начинается сразу же после введения сооружения в эксплуатацию и в конце расчетного срока их службы достигает в лицевых стенках 35-50%, в стальных сваях экранирующих и анкерных стенках, анкерных тросах 20-25% [1, 2].

Обеспечение надежной антикоррозийной защитой таких элементов как стальные экранирующие и анкерные стенки, участки элементов лицевых стенок, прорезывающих грунт при забивке, невозможно из-за того, что при погружении в грунт антикоррозийная защита будет уничтожена и т.д. [3].

Основными критериями выбора ЛКП для защиты от коррозии являются:

- соответствие материала конкретным эксплуатационным условиям;
- прогнозируемый срок службы до первого ремонта;
- простота нанесения (количество слоев), требования к подготовке поверхности под окраску;
- число компонентов для смешивания;
- допустимый уровень влажности и температуры на поверхности при нанесении;
- адгезионные свойства;
- достаточная эластичность покрытия при тепловом расширении металла;
- стойкость к воздействию речной воды и УФ-облучению;
- сопротивление истиранию и ударам; токсичность краски, растворителей и отвердителей;
- время твердения и полного высыхания при производстве работ;
- простота текущих ремонтов покрытия;
- требования к цвету и внешнему виду покрытия;
- стоимость системы защиты в целом с учетом затрат на подготовку поверхности [4].

Из всей массы существующих лакокрасочных покрытий рассмотрим три системы, которые, наш взгляд, являются как бы индикаторами всей лакокрасочной гаммы покрытий (по материалам ООО «Трест Запсибгидрострой»).

*Лакокрасочное покрытие Ярославского завода [5].* На очищенную и подготовленную поверхность наносятся два слоя грунта ХС-10 (на основе сополимера – винилхлорида). Грунт наносится кистью или распылителем. Продолжительность сушки грунтовки при температуре 18-23 °С один час.

*Защитное покрытие* состоит из 4 слоев перхлорвинилового лака ХВ-784. Перед нанесением лак тщательно перемешивается и разводится до нужной консистенции. Лакокрасочный материал наносится распылителем или кистью.

*Сушка* окрашиваемых поверхностей производится в естественных условиях при температуре 18-23 °С или в специальных сушильных камерах. Продолжительность сушки 1 ч.

*Покрытие системы «ПРИМ ПЛАТИНА Норд».* Антикоррозионный эпоксидный двухкомпонентный тиксотропный материал из серии «ПРИМ ПЛАТИНА» является грунт-эмалью и содержит ингибиторы коррозии, препятствующие образованию подпленочной коррозии и нейтрализующие остатки имеющейся ржавчины. Обладает следующими свойствами [6]:

- защищает прокорродировавший и чистый металл;
- не требует обязательного предварительного грунтования поверхности;
- наносится при отрицательных температурах до минус 15 °С;
- обеспечивает получение толстослойного покрытия за один проход;
- повышенные хим-, водо-, износо-, атмосферостойкость.

«ПРИМ ПЛАТИНА Норд» может использоваться как самостоятельное покрытие, так и

совместно с различными грунтовками и финишными покрытиями, рекомендуется для долговременной защиты от коррозии металлических, бетонных и железобетонных поверхностей, эксплуатируемых снаружи и внутри помещений всех типов зданий и сооружений:

- в открытой атмосфере умеренного, холодного, тропического и морского климата;
- в атмосфере промышленных предприятий, содержащей агрессивные газы и пары;
- при повышенной влажности;
- в воде, в солевых растворах, в растворах кислот и щелочей;
- в бензине, масле и различных нефтепродуктах.

Покрытие на основе материала «ПРИМ ПЛАТИНА Норд» обеспечивает защиту от коррозии металлических, бетонных и железобетонных поверхностей на срок до *26 лет* [7], температурный режим эксплуатации – от минус 60 °С до плюс 120 °С.

Отличительные особенности материала «ПРИМ ПЛАТИНА Норд»:

- не требуется предварительного грунтования поверхности;
- возможность нанесения при отрицательных температурах (от минус 15°С) и при пониженной влажности;
- допускается нанесение материала на плотносцепленную ржавчину до 100 мкм;
- нанесение в 1-2 слоя, так как материал обеспечивает получение толстослойного покрытия за один проход – до 300-350 мкм сухого слоя (при безвоздушном методе нанесения);
- повышенные водо-, износо-, хим-, бензо-, масло-, атмосферостойкость;
- широкая цветовая гамма, в том числе по каталогу RAL, по эталону заказчика;
- длительный срок службы.

*Лакокрасочное покрытие фирмы Steelpaint GmbH (Германия) [4].* Лакокрасочные материалы фирмы Steelpaint GmbH представляют собой полиуретановый лак с введенными в него различными наполнителями и специальными добавками. Фирмой выпускается более 30 наименований материалов различного назначения (лаки, грунтовки, эмали), выгодно отличающихся видом и качеством наполнителя, наличием специальных добавок.

Влагоотверждаемые полиуретановые лакокрасочные материалы Steelpaint выпускаются в виде одноупаковочных систем, готовых к употреблению, и сохраняют свои технологические свойства при хранении. Полиуретановые материалы Steelpaint производятся с пониженным содержанием растворителей, что отвечает современным требованиям санитарных и экологических нормативов, сохраняют уникальные эксплуатационные характеристики.

Многослойное лакокрасочное покрытие Stelpant выполняет защитные функции, затрудняя доступ агрессивных компонентов эксплуатационной среды к защищаемым поверхностям. Важнейшим свойством покрытия при этом является низкая газо- и водопроницаемость и отсутствие пор, а также высокая пропитывающая и проникающая способность. Каждый слой лакокрасочного покрытия выполняет конкретные функции:

- верхний слой обеспечивает декоративные свойства покрытия: цвет, глянец и защищает от действия ультра фиолетового излучения;
- промежуточный слой обеспечивает барьерные свойства покрытия;
- нижний – адгезионный слой обеспечивает сцепление покрытия с подложкой, а также протекторные свойства в системе грунтовочного покрытия с активными наполнителями.

Сочетание последовательно нанесенных материалов позволяет составить системы покрытий для надежной и долговечной защиты металлических конструкций в различных условиях эксплуатации: атмосферостойкие, консервационные, водостойкие, химически стойкие и др.

В гидротехническом строительстве наиболее распространенными и широко используемыми являются следующие системы со сроком службы не менее *20-ти лет*:

– для защиты гидротехнических объектов (шпунтовых стен, свай, свай-оболочек) в зоне переменного уровня:

- Stelpant-PU-Zinc .....2×80 мкм;
- Stelpant-PU-Combination .....2×200 мкм;
- общая толщина .....560 мкм;

– для защиты гидротехнических объектов, эксплуатирующихся в зоне брызг и в промышленной атмосфере:

- Stelpant-PII-Zinc .....1×80 мкм;
- Stelpant-PU-Mica HS .....1×80 мкм;
- Stelpant-PU-Mica UV .....1×80 мкм;
- общая толщина .....240 мкм.

Высокая адгезия материалов фирмы Steelpaint GmbH, полная совместимость покрытий друг с другом, сочетающиеся с высокими механическими свойствами: стойкостью к истиранию, твердостью и эластичностью, отличной газонепроницаемостью и высокими диэлектрическими свойствами, весьма эффективно изолируют металл и бетон от воздействия агрессивной среды и предотвращают коррозионно-механические разрушения защищаемого объекта.

Лакокрасочные материалы должны иметь паспорт завода-изготовителя. При отсутствии паспорта или превышения срока хранения материалов необходимо испытать их в лаборатории по основным показателям.

Проверка качества нанесенных покрытий оформляется актом. Ремонт ЛКП осуществляется легче и с меньшими экономическими затратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Даревский, В.Э. Проектирование сооружений, обеспечивающих устойчивость грунтовых массивов (набережные, берегоукрепления, подпорные стены, защита от оползней и пр.) / В.Э. Даревский, А.М. Романов; Гипроречтранс. -М.: Мастер, 2011. - 596 с.
- 2 Бройтман, А.Ш. Стальной шпунт нового типа для портового, гидротехнического и транспортного строительства: науч. докл. ... д-ра трансп. Рос. акад. трансп. / А.Ш. Бройтман. -Новосибирск, 2004. -122 с.
- 3 Васильев, А.П. Особенности проектирования новых и определение несущей способности существующих причальных сооружений типа Больверк / А.П. Васильев, Е.Б. Еремин // Гидротехника. -2012. -№3. -С. 66-69.
- 4 РД ГМ-01-02. Руководящий документ по защите от коррозии механического оборудования и специальных стальных конструкций гидротехнических сооружений ГМ [Электронный ресурс]. -М., 2002. -Режим доступа: www.complexdoc.ru.
- 5 Инструкция по лакокрасочным покрытиям Ярославского завода красок. -Ярославль, 2002.
- 6 Каталог лакокрасочных материалов промышленного назначения. «ПРИМ ПЛАТИНА Норд» защитный химостойкий материал по ТУ 2312-017-53945212-2007. -М.: Техпромсинтез, 2007. -165 с.
- 7 Правила технической эксплуатации и рекомендации по повышению долговечности портовых ГТС / Минтранс РФ, С.-Петербург. ун-т вод. коммуникаций. -СПб.,1997.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *коррозия металлического шпунта, защита от коррозии, лакокрасочные покрытия*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Бик Юрий Игоревич, докт. техн. наук, и.о. ректора, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Бройтман Аркадий Шлеймович, главный инженер ООО «Трест Запсибгидрострой»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *626403, г.Сургут, ул.Университетская, 7, ООО «Трест Запсибгидрострой»  
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

А.Г. Полянкин

### GENERALIZED PILE FOUNDATIONS DESIGN PROCEDURE ADVANCE FOR PILE FOUNDATION OF TRANSPORTATION OF FACILITIES

Omsk state transport university  
A.G. Polyankin

The article describe the rational design principle for piled foundations of transportation facilities considering reallocation of forces between piles, if forces in one of them reach the value of their bearing capacity. The method based on generalized pile foundations design procedure. The article reports on the issue of rational design of piled foundations and the matter, which is closely associated with it - the bearing capacity of piles.

*Keywords: pile foundations design method, horizontal loads, moment loads, rational design*

На основе обобщенной методики определения усилий в свайных фундаментах транспортных сооружений разработан новый метод расчета с позиции их рационального проектирования с учетом перераспределения усилий между сваями в случае, если в нескольких из них усилия достигли значений их несущей способности. Изложено решение задачи рационального проектирования свайных фундаментов и тесно связанный с ним вопрос о несущей способности свай.

Последние десятилетия ознаменовались интенсивным внедрением свайных технологий при проектировании транспортных сооружений, особенно в сложных инженерно-геологических условиях[1]. Анализируя современные методы расчета свайных фундаментов, можно отметить, что наиболее детально разработаны методы определения несущей способности (НС) сваи на вдавливание  $F_d$  (выдергивание  $F_{du}$ ) по обобщенной методике расчета предложенной в СНиП 2.02.03.85. Рекомендации СП и СНиП [2] по определению НС



сваи на горизонтальную  $F_{dH}$  и моментную  $F_{dM}$  нагрузки ограничены применением только полевых методов. В то же время разработка аналитического метода, позволяющего рассчитать величины  $F_{dH}$  и  $F_{dM}$  по формулам с учетом грунтовых условий и характеристик свай, имеет большое практическое значение для проектирования свайных фундаментов.

Вместе с тем, число сооружений на свайных фундаментах, испытывающих горизонтальные и моментные нагрузки весьма велико – это и береговые и промежуточные опоры мостов, и подпорные стенки, противооползневые и противолавинные сооружения, порталные подпорные сооружения и рамповые участки тоннелей, ограждающие конструкции котлованов, берегоукрепительные и причальные сооружения водного транспорта и др. Таким образом, совершенствование методов расчета при проектировании фундаментов транспортных сооружений является безусловно актуальной задачей.

В настоящее время в соответствии с ГОСТ 27751 расчет свайных фундаментов и их оснований должен быть выполнен по первой и второй группам предельных состояний. В последнее время, в практике проектирования, большее внимание уделяется расчетам НС и ограничению возможных деформаций при сохранение эксплуатационной надежности сооружения [3]. Согласно обобщенной методике расчета [2], проверка условия прочности грунта, окружающего сваю, выполняется на фиксированной глубине ( $z = 0,85/\alpha$ ) независимо от каких-либо дополнительных факторов. Кроме того, при превышении одной сваей фундамента ее НС весь фундамент считается вышедшим в предельной состояние. В то же время, расчет по деформациям может содержать в себе еще значительный запас. Тогда возникает вопрос о возможности допущения перераспределения нагрузок между сваями таким образом, чтобы ряд свай работал в предельном состоянии. Более полное использование запасов несущей способности свайного фундамента открывает возможности их рационального проектирования.

Основываясь на положениях детально изложенных в работе[4], позволивших исследовать характер взаимосвязи НС свай, на действие горизонтальных  $H_m$  и моментных  $M_m$  нагрузок и покажем, что зависимость между ними близка к линейной и может быть выражена функциями (1), определяющими НС по длине свай

$$F_{dHO} = \frac{\gamma b}{\alpha^2} H_m; H_m = \min_z \{H\}; F_{dMO} = \frac{\gamma b}{\alpha^3} M_m; M_m = \min_z \{M\}. \quad (1)$$

Имея выражения для определения НС сваи на вертикальную, горизонтальную и моментную нагрузки можно перейти к решению задачи рационального проектирования свайного фундамента, основанному на расчете перераспределения нагрузок между сваями, который базируется на строгом соблюдении равенства действующих усилий в сваях и ее несущей способности [5, 6]. Это касается тех свай, в которых при действующих нагрузках после стандартного расчета по обобщенной методике полученные усилия превышают предельные значения. В то же время, предлагаемый вариант решения полностью соответствует нормативному расчету свайного фундамента.

Общая схема предлагаемой методики подразумевает итерационный расчет и состоит в следующем: после первого расчета, как и в стандартной методике, выполняется проверка по НС каждой сваи. В тех сваях, в которых полученные усилия превышают предельные значения, на следующей итерации усилия задаются равными соответствующим значениям их НС. Расчет повторяется до тех пор, пока ни в одной свае не будет превышена несущая способность. Если в результате пересчетов выясняется, что все усилия во всех сваях вышли в предельное состояние, то это означает полное исчерпание НС всем свайным фундаментом, то есть такая конструкция не может существовать.

Обратимся к способам проверок свай по НС, которая должна выполняться на каждой итерации. Проверка несущей способности на вдавливание (выдергивание) имеет стандартный вид

$$|N_i| \leq \frac{F_d}{\gamma_n}, \quad (2)$$

где  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по грунту.

Расчет на действие горизонтальной и моментной нагрузки выполняется по методике, описанной в [3], и заключается в выполнении условий

$$H_i \leq F_{dH}; M_i \leq F_{dM}. \quad (3)$$

Отметим три важных особенности работы с неравенством (3). Во-первых, величины  $F_{дН}$  и  $F_{дМ}$  не являются независимыми, а связаны между собой согласно схеме, изображенной на рисунке. Второй особенностью использования неравенства (3) является то, что при наличии свободной длины сваи  $l \neq 0$ , то есть для случая высокого ростверка, ограничению подлежат не усилия, непосредственно возникающие в уровне подошвы ростверка  $H_i$  и  $M_i$ , а усилия в уровне поверхности грунта, которые, очевидно, равны

$$H_{i0} = H_i; M_{i0} = H_i l_0 + M_i. \quad (4)$$

В-третьих, важную роль играет взаимное направление усилий  $H_{i0}$  и  $M_{i0}$ . Остановимся на этой особенности несколько подробнее. Учитывая то, как положительные направления этих усилий были оговорены выше, может иметь место четыре случая вариантов направления усилий  $H_{i0}$  и  $M_{i0}$ : а)  $H_{i0} > 0$  и  $M_{i0} > 0$ ; б)  $H_{i0} > 0$  и  $M_{i0} < 0$ ; в)  $H_{i0} < 0$  и  $M_{i0} > 0$ ; г)  $H_{i0} < 0$  и  $M_{i0} < 0$ . На графике несущих способностей (рисунок), для случая «а» точка располагается в положительной четверти графика и может находиться либо ниже, либо выше прямой, соединяющей точки  $F_{дН0}$  и  $F_{дМ0}$ .

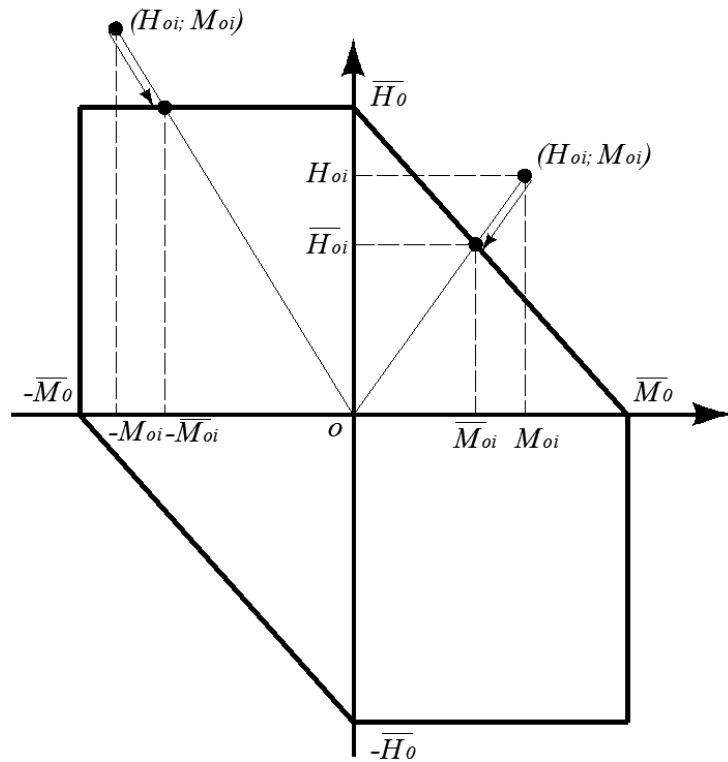


Рисунок – График несущих способностей  $F_{дН}$  и  $F_{дМ}$

Если точка располагается ниже прямой, то это означает, что усилия в свае не достигли своих предельных значений. Если точка располагается выше прямой, то, учитывая физическую и геометрическую линейность работы системы «фундамент-грунт» можно считать, что траектория нагружения сваи также линейна, то есть усилия в ней пропорционально возрастали с нуля до полученных значений  $H_{i0}$  и  $M_{i0}$ . Тогда следует пропорционально уменьшить эти величины так, чтобы они оказались на границе недопустимых значений (на графике это  $F_{дНi}$  и  $F_{дМi}$ ).

Если точка  $H_{i0}$  и  $M_{i0}$  окажется в третьей четверти (случай «г»), выполняется описанная только что процедура с учетом смены знака. Если  $H_{i0}$  и  $M_{i0}$  оказываются разнонаправлены (случаи «б» и «в»), то область допустимых значений ограничивается перпендикулярами к осям графика с основаниями в точках  $F_{дН0}$  и  $F_{дМ0}$ . Это предложение основано на том, что, хотя разнонаправленные горизонтальная сила и момент компенсируют друг друга, время их приложения по технологии сооружения фундамента или в процессе эксплуатации может оказаться различным и, поэтому, допускать превышения значений  $F_{дН0}$  и  $F_{дМ0}$  этими величинами не следует, при этом, определение предельных значений следует выполнять пропорциональным уменьшением усилий  $H_{i0}$  и  $M_{i0}$ . Если  $H_{i0}$  и  $M_{i0}$  оказываются разнонаправлены, то область допустимых значений ограничивается перпендикулярами к осям графика с основаниями в точках  $F_{дН0}$  и  $F_{дМ0}$ . Таким образом, основные проверки по несущей способности сваи по грунту можно выразить вышеприведенными неравенствами.

После расчета по обобщенной методике [2], следует выполнить следующий анализ: Допустим, что при расчете свайного фундамента в ряде свай были нарушены условия (2) и (3). Тогда примем, что в этих сваях усилия, превысившие предельные значения после шага расчета, должны равняться своим предельным значениям.

Введем показатели работы сваи:  $\delta_{iv}$  и  $\delta_{iu}$ . При работе сваи на вдавливающую и выдерживающую нагрузку в допредельной стадии  $\delta_{iv} = 1$  и в предельной стадии  $\delta_{iv} = 0$ . Аналогично,

работа сваи на горизонтальную и моментную нагрузку характеризуется значениями показателя  $\delta_{iu} = 1$  (допредельная стадия),  $\delta_{iu} = 0$  (предельная стадия).

При значении  $\delta_{iv} = 0$  нормальная сила  $N_i = F_d$  (при явлении вдавливания сваи) и  $N_i = -F_{du}$  (при явлении выдергивания сваи). Аналогично, при значении  $\delta_{iu} = 0$  поперечная сила  $H_i = F_{dHi}k_{iH}$  и  $M_i = F_{dMi}k_{iM}$ . Отметим, что эти условия будут иметь место одновременно. Коэффициенты  $k_{iH}$  и  $k_{iM}$  контролируют знаки соответствующих усилий.

Заметим, что при одинаковых типах и размерах свай, величины  $F_d$  и  $F_{du}$  также одинаковы и постоянны для всех свай. Что касается показателей несущей способности  $F_{dH}$  и  $F_{dM}$ , то помимо того, что они взаимно зависимы, они будут иметь различные значения для различных свай. Поэтому, для этих показателей приняты обозначения  $F_{dHi}$  и  $F_{dMi}$ .

С учетом принятой системы параметров, а также с учетом канонической системы уравнений метода перемещений запишем выражения для усилий в сваях:

$$\begin{cases} N_i = \rho_1 [u \sin \alpha_i + (v + \omega x_i) \cos \alpha_i] \delta_{iv} + F_{di} (1 - \delta_{iv}); \\ H_i = \{ \rho_2 [u \cos \alpha_i - (v + \omega x_i) \sin \alpha_i] - \rho_3 \omega \} \delta_{iu} + F_{dHi} (1 - \delta_{iu}) k_{iH}; \\ M_i = \{ \rho_3 [u \cos \alpha_i - (v + \omega x_i) \sin \alpha_i] + \rho_4 \omega \} \delta_{iu} + F_{dMi} (1 - \delta_{iu}) k_{iM}. \end{cases} \quad (5)$$

Выделим коэффициенты канонических уравнений и приведем каноническую форму системы уравнений равновесия обобщенной методики:

$$\begin{cases} r_{vv}v + r_{vu}u + r_{v\omega}\omega = F_v + \sum_1^n F_{dHi} (1 - \delta_{iu}) k_{iH} \sin \alpha_i - \sum_1^n F_{di} (1 - \delta_{iv}) \cos \alpha_i; \\ r_{uv}v + r_{uu}u + r_{u\omega}\omega = F_h - \sum_1^n F_{dHi} (1 - \delta_{iu}) k_{iH} \cos \alpha_i - \sum_1^n F_{di} (1 - \delta_{iv}) \sin \alpha_i; \\ r_{\omega v}v + r_{\omega u}u + r_{\omega\omega}\omega = M - \sum_1^n F_{dMi} (1 - \delta_{iu}) k_{iM} + \sum_1^n F_{dHi} (1 - \delta_{iu}) k_{iH} x_i \sin \alpha_i - \sum_1^n F_{di} (1 - \delta_{iv}) x_i \cos \alpha_i. \end{cases} \quad (6)$$

Итак, предлагаемый метод расчета свайного фундамента, позволяет, при определении НДС свай, подробно рассмотренного в [4], произвести итерационный расчет и учесть работу одной или нескольких свай фундамента в предельном состоянии. В качестве примера по предлагаемой методике проведен анализ работы свайных фундаментов для двух случаев: симметричного фундамента из 10 рядов с 4 сваями в ряду и несимметричного фундамента из 10 рядов с 5 сваями в ряду. Полученные результаты показали значительное снижение расчетной загруженности свай вследствие перераспределением нагрузки между ними.

**Выводы.** Приведена методика расчета свайных фундаментов, с учетом перераспределения усилий в свайном фундаменте между сваями при выходе отдельных свай в предельное состояние.

Данная методика дополняет обобщенную методику расчета свайных фундаментов и позволяет более рационально использовать ресурсы прочности основания свайного фундамента.

Предлагаемая методика расчета рекомендуется для использования при проектировании свайных фундаментов с целью максимальной экономии вложенных средств при сохранении эксплуатационных свойств сооружения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Результаты полномасштабного обследования и испытания сталежелезобетонных пролетных строения железнодорожных мостов Сибири и Дальнего Востока / С.А. Бокарев [и др.] // Вестн. ТГАСУ. -2009. -№2. -С. 160-170.
- 2 СП 24.13330.2011 (СП 50-102-2003, СНиП 2.02.03-85). Свайные фундаменты. -М., 2011.
- 3 Mandolini, G. Viggiani Pile foundations: experimental investigations, analysis and design. 16° / G. Mandolini, C. Russo // International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, September 12-16, 2005, Osaka, Japan.
- 4 Королев, К.В. Расчет несущей способности сваи на горизонтальную и моментную нагрузки / К.В. Королев, А.Г. Полянкин // Вестн. СГУПС. -Новосибирск, 2010. -С. 34-39.
- 5 Королев, К.В. Несущая способность свай на горизонтальную и моментную нагрузку и оптимальное проектирование свайных фундаментов / К.В. Королев, А.Г. Полянкин, А.А. Кузнецов // Трансп. стр-во. -2013. -№3. -С. 13-15.
- 6 Караулов, А.М. К расчету заглубленных незаанкеренных подпорных стенок / А.М. Караулов, А.Г. Полянкин // Труды Всероссийской НТК «Геотехника: теория и практика»/ СПбГАСУ. -2013. -С. 165-169.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** обобщенная методика расчета свайных фундаментов, горизонтальные нагрузки, моментные нагрузки, рациональное проектирование  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Полянкин Александр Геннадьевич, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СТенок ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ, ИМЕЮЩИХ ДЕФЕКТЫ И ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ПОРТАХ

ООО «Научно-производственный консорциум Изотермик»

Е.И. Карамнов

APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD FOR EVALUATION OF VERTICAL TANKS STABILITY IN SEA OR RIVER PORTS WITH SHELL DEFECTS HAVING

Research and production consortium Isotermik  
E.I. Karamnov

Tanks are known is extremely thin walled shell. And is characterized by is capacity to keep its form under imposed squizing pressures. To evaluate this the finite element method is offered. And the present article deals with the development and assement of a calculation model substation of the shell.

*Keywords: tanks, extremely thin walled shell, finite element method, calculation model*

Стенка резервуара, как тонкостенная оболочка. Работа тонкостенной оболочки под действием сжимающих напряжений. Принципы создания расчетной модели.

В связи с возросшей долей наливных грузов в общем потоке грузов перевозимых водным транспортом, необходимо уделить внимание вопросам перегрузки наливных грузов с одного вида транспорта на другой, их складированию и хранению. В речных и морских портах, на нефтеналивных терминалах широкое применение получили вертикальные стальные резервуары. В связи со значительным числом подобных резервуаров, значительным сроком эксплуатации некоторых из них (срок эксплуатации 70-80% превысил 30 лет), эксплуатацией в неблагоприятных условиях, решающее значение получает задача безаварийной и безопасной их работы. Ключевым моментом в определении возможности дальнейшей безопасной эксплуатации вертикальных стальных резервуаров является вопросы их устойчивости. В процессе эксплуатации на резервуаре образуются дефекты (такие как коррозионный износ, неоднородная просадка основания и т.п.) которые негативно влияют на устойчивость резервуаров. До сих пор вопросы устойчивости РВС с дефектами был раскрыт мало и неполно. В частности необходимо выяснить, какие параметры дефекта влияют на потерю устойчивости в большей степени. Не менее важной видится задача по изучению взаимодействия дефектов между собой, устойчивость резервуаров с дефектами под действием внешних факторов (ветровая нагрузка, снеговая нагрузка, аварийный вакуум).

Так же, необходимо отметить, что резервуары расположенные непосредственно по берегам рек и других крупных водоемов относятся к классу ответственности 1Б) – особо опасные резервуары. Общий материальный эффект от разрушения такого рода объекта может в десятки раз превосходить стоимость самого объекта.

Известно, что стенка вертикального цилиндрического резервуара представляет собой тонкостенную оболочку. Точнее, с точки зрения теории оболочек стенка резервуара представляет собой сверхтонкую оболочку, так как отношение толщины стенки к радиусу находится в диапазоне от 1:2000 до 1:1000. Одним из важнейших вопросов характеризующих напряженно-деформируемое состояние стенки является ее устойчивость способность сохранять устойчивую форму равновесия под действием сжимающих напряжений).

Решение подобной задачи предполагается возможной с помощью метода конечных элементов (МКМ). Инструментом, реализующим применение МКМ для решения задачи устойчивости стенки РВС может послужить программа APM Structure 3D.

Проанализируем возможность применение программы APM Structure 3D для решения



Рисунок 1 – РВС на нефтеналивном терминале

поставленной задачи, путем моделирования простейшей модели условного резервуара (полый цилиндр) под действием нагрузки, рассчитаем его на устойчивость и сравним полученный результат с решением по классической формуле.

Исходя из полученных в ходе расчетов результатов, можно сделать вывод, что модель с малым количеством разбиений рассчитывается некорректно, что, так же отмечают Д.Г. Кучерявенко, В.Л. Якушев в своей статье «Решение нелинейной задачи устойчивости тонких оболочек. Методом конечных элементов». А расчет модели с большим (более 30000 степеней свободы) количеством разбиений невозможно осуществить на мощностях персонального компьютера. Решим эту проблему с помощью удаления лишних элементов, днаща которое не влияет на решение задачи устойчивости оболочки и кровли. Нагрузку (например, снеговую) мы будем имитировать приложениям силы к верхним узлам верхних пластин стенки резервуара, направление нагрузки вдоль оси.

Проверим расчетную модель по методике, предлагаемой в [4, 5], для ускорения расчетов, а так же для последующих проверочных расчетов разработаем в среде Matchcad программу для расчета стенки резервуара на устойчивость. Однако после проведения расчетов по теоретической формуле мы убеждаемся, что значение коэффициента запаса устойчивости и, следовательно, критической нагрузки не соответствует вычисленному по теоретической формуле.

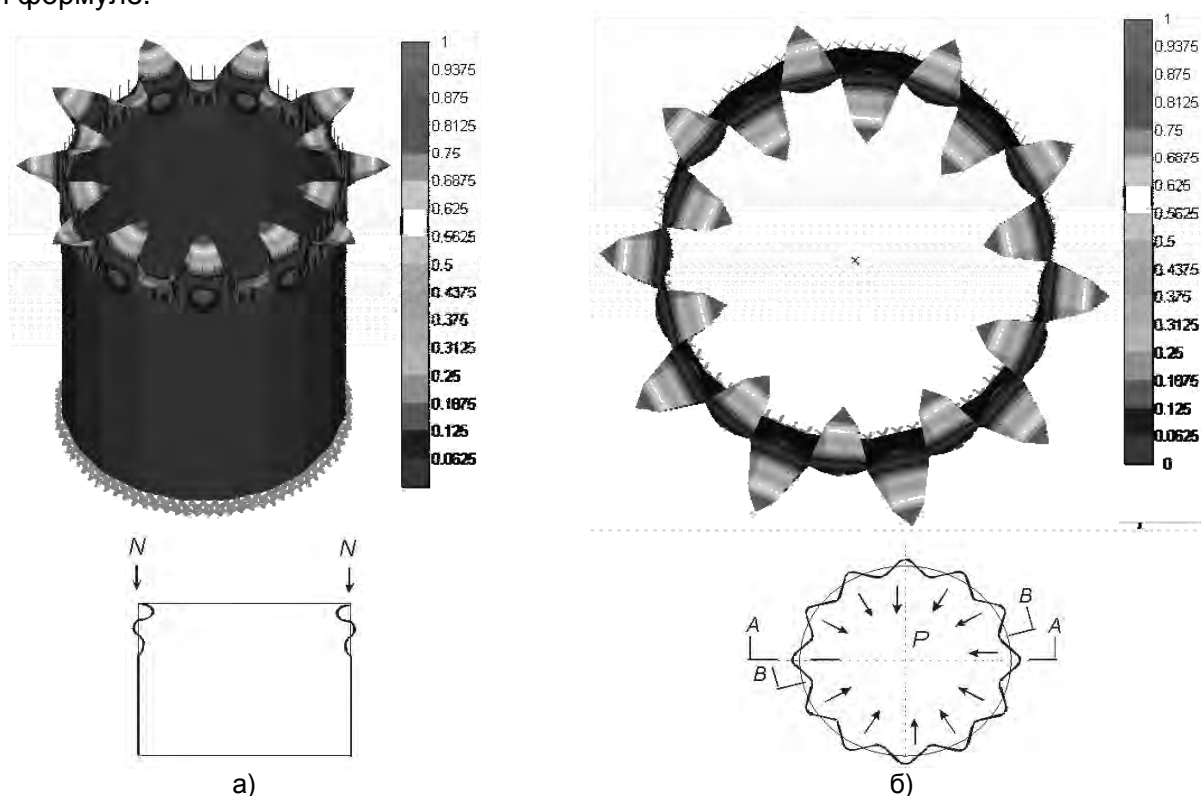


Рисунок 2 – Форма потери устойчивости, полученные с помощью программы APM Structure 3D и теоретический вид формы потери устойчивости

Проанализировав расчетную модель и оценив факторы, влияющие на точность расчета, наиболее вероятной причиной неверного результата является некорректный учет краевых поперечных сил и изгибающих моментов (краевой эффект) возникающих в тонкостенной оболочке.

Для учета краевого эффекта предполагается еще более мелкое разбиение модели на элементы. Однако, как показывают предыдущие численные эксперименты модели с большим числом степеней свободы не рассчитываются в среде APM Structure 3D.

Однако при осевом сжатии для решения задачи устойчивости нас интересует верхняя часть тонкостенной оболочки, так как потеря устойчивости наблюдается на верхних поясах резервуара. Поэтому увеличим количество разбиений в верхней части оболочки, а с целью осуществления возможности расчета среднюю и нижнюю часть модели разобьем на более крупные элементы. Создадим модель с неравномерным разбиением.

Приложим к 240 верхним узлам силу, направленную вдоль оси Z равную 10 кН. Итого

суммарная нагрузка 2400 кН. После чего произведем статический расчет и расчет на устойчивость.

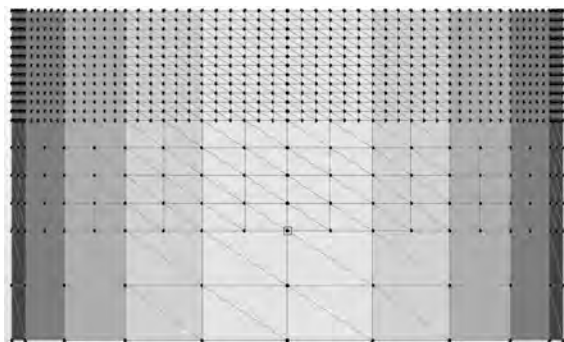


Рисунок 3 – Модель с неравномерным разбиением

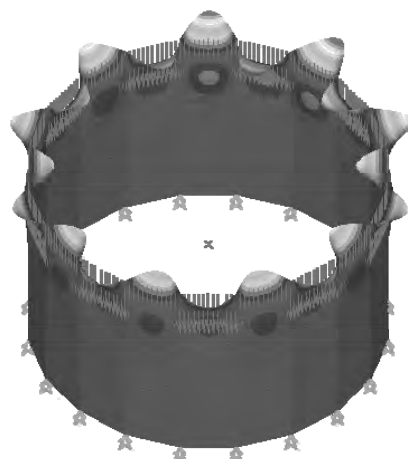


Рисунок 4 – Форма потери устойчивости

Проверим полученный результат по расчетной формуле

$$\sigma_{кр} = \frac{q_{кр}}{h} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\mu^2)}} \frac{h}{R} \approx 0,6E \frac{h}{R}.$$

Проверка показала, что расхождение между результатом, полученным в ходе численного эксперимента и по теоретической формуле составляет 1,5%.

Рассчитаем остальные типоразмеры резервуаров в среде APM Structure 3D и проверим результат по расчетной формуле. Так же проверим полученные результаты и формы потери устойчивости с помощью программы поиска точных решений (таблица).

Таблица – Сравнение полученных результатов

РВС	Расхождение по формуле, %	Расхождение с программой, %
1000	1,7	2,0
2000	1,4	1,1
3000	0,5	0,1
5000	0,3	0,2
10000	1,0	0,3
20000	1,4	0,4
50000	1,1	0,8

Из этого следует, что диапазон расхождений полученных критических нагрузок составляет 0,3-1,7% с теоретической формулой и 0,1-2,0% с программой КИПР. Исходя из этого мы можем считать предложенную расчетную модель пригодной для дальнейших расчетов резервуаров с дефектами, полученными в процессе эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кандаков, Г.П. Проблемы отечественного резервуаростроения и возможные пути их решения / Г.П. Кандаков // Пром. и гражд. стр-во. -1998. -№5.
- 2 Нехаев, Г.А. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления / Г.А. Нехаев. -М.: АСВ, 2005. -216 с.
- 3 Сафарян, М.К. Металлические резервуары и газгольдеры / М.К. Сафарян. -М.: Недра, 1987. -200 с.: ил.
- 4 СА-03-008-08. Резервуары вертикальные стальные сварные для нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование и анализ безопасности. Методические указания / Рос. ассоц. эксперт. орг. техноген. объектов повышен. опасности «Ростехэкспертиза», Науч.-пром. союз «Риском», НПК «Изотермик».
- 5 Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов: ПБ 03-605-03. -М., 2004.
- 6 Исследования вопроса устойчивости стальных вертикальных резервуаров / Е.А. Егоров [и др.] [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://urs.com.ua/stat\\_5.htm](http://urs.com.ua/stat_5.htm). -10.01.2011.
- 7 Тарасенко, А.А. Разработка научных основ методов ремонта вертикальных стальных резервуаров: дис. ... д-ра техн. наук / Тарасенко Александр Алексеевич. -Тюмень, 1999. -299 с.
- 8 Решение нелинейной задачи устойчивости тонких оболочек методом конечных элементов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ipdn.ru/rics/doc0/DB/b3/1-kuch.htm>. -11.02.2011.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** резервуары вертикальные стальные, тонкостенные оболочки, метод конечных элементов, устойчивость, расчетная модель  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Карамнов Егор Игоревич, руководитель группы ООО «НПК Изотермик»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 118587, г.Москва, Варшавское шоссе, 125, стр.1, секц.11, ООО «НПК Изотермик»

## ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРИЧАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СТЕН С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНЪЕКЦИОННЫХ АНКЕРОВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.А. Кочкуров

### IMPROVING BEARING CAPACITY OF BERTHING STEEL SHEET PILING USING INJECTION ANCHORS

Novosibirsk state academy of water transport

I.A. Kochkurov

The results of studies of the various parameters that affect the reliability of the steel sheet piling. Described by improving bearing capacity of berthing steel sheet piling using injection anchors.

Keywords: ground anchors, steel sheet piling

Изложены результаты исследований различных параметров, влияющих на надежность шпунтовых причальных сооружений. Описывается повышение несущей способности причальных стенок с использованием техники грунтовых анкеров.

Шпунтовые стенки – один из наиболее распространенных типов причальных сооружений, основная доля от объема возводимых которых выпадает на 1975-1985 гг. и средний срок службы их составляет в среднем 30-35 лет. В настоящее время только 31% гидросооружений соответствует нормам безопасности, и требующих модернизации, для повышения или восстановления первоначальной несущей способности [3].

Существуют различные методы, которые могут быть использованы для повышения несущей способности шпунтовых стенок. Использование дополнительных закрепленных анкерных тяг, забетонированных в обратную засыпку и расположенных вдоль открытой части стены, является одним из наиболее подходящих решений, принятых для реконструкции и модернизации существующей причальной стенки.

Преыдущие исследования показали, что все параметры шпунтовой стенки влияют на поведение структуры. Площадь забетонированных анкеров, наклон и расположение, длина и глубина бетонирования, являются наиболее определяющими параметрами для расчета причальных стен (рисунок 1).

Для моделирования колебаний уровня воды между передней и задней частями стенки рассматривается постоянный несбалансированный гидростатический напор в полметра. Положение исходного анкера считается совпадающим с уровнем грунтовых вод. Как в наиболее практичных причальных стенках, берётся в расчёт постоянное расстояние в 1,50 м между анкерами.

Результаты параметрического исследования представлены в терминах следующих безразмерных параметров [1]:

– анкерная сила

$$R_F = \frac{F_a}{\gamma_w (H_0)^2};$$

– изгибающий момент

$$R_m = \frac{M}{\gamma_w (H_0)^3};$$

– длина бетонирования

$$RL_g = \frac{L_g}{H_0};$$

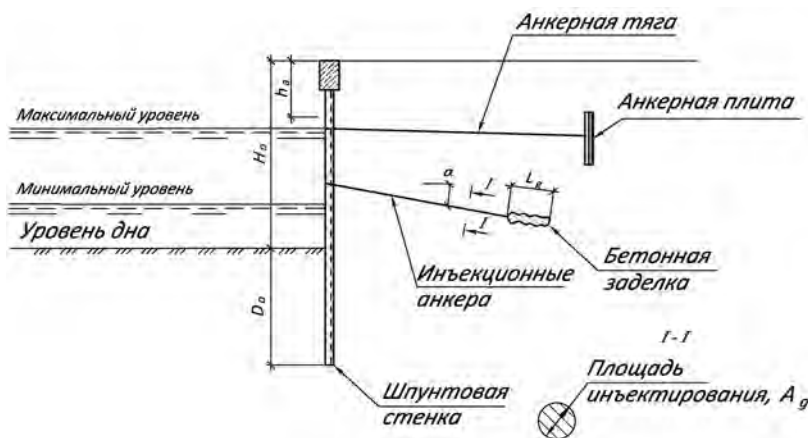


Рисунок 1 – Схема для расчета причальных стен

- осадка поверхности земли  $R_{uy} = \frac{U_y}{H_0}$
- горизонтальное смещение  $R_{ux} = \frac{U_x}{H_0}$ .

*Влияние площади инъекционного анкера.* Использование инъекционных анкеров в реконструкции стальных шпунтовых причальных стенок приводит к значительному снижению как максимального изгибающего момента, действующего в причальной стенке, так и соответствующего и максимального горизонтального смещения шпунтовой стенки, осадки поверхности грунта и существующей анкерной силы.

Для исследования такого эффекта, были приняты три значения  $R_g$  [1]

$$R_g = \frac{A_g}{SH_0},$$

- где  $A_g$  – площадь поперечного сечения анкера;
- $S$  – расстояние между анкерами по горизонтали;
- $H_0$  – свободная высота стенки.

Для сравнения результатов был исследован пример без инъекционных анкеров. Рисунки 2-5 показывают влияние площади дополнительной тяги на  $R_g$  для уменьшения значений изгибающего момента  $R_m$ , горизонтального смещения  $R_{ux}$ , осадка  $R_{uy}$  и анкерной силы  $R_F$  вдоль шпунтовой причальной стенки. Графики показывают что по мере увеличения площади бетонирования  $A_g$ , максимальный изгибающий момент  $R_{mmax}$  уменьшается. По сравнению со стенкой без дополнительной тяги, он уменьшается примерно на 25, 55 и 72% при увеличении  $R_g$  с  $2,1 \cdot 10^{-3}$  до  $4,2 \cdot 10^{-3}$  и  $6,3 \cdot 10^{-3}$ , соответственно. Аналогично, максимальное горизонтальное смещение  $R_{uxmax}$ , максимальная осадка  $R_{uymax}$  и анкерная сила  $R_{Fmax}$  уменьшились на 32, 56 и 67; 41, 69 и 78; 30, 55 и 62%, соответственно.

Это снижение может быть отнесено на счёт вклада площади дополнительной тяги, которая помогает увеличить общую жесткость конструкции и, таким образом, уменьшить внутренние силы, индуцируемые в системе стальной шпунтовой причальной стенки. Результаты также показывают, что максимальное горизонтальное смещение  $R_{uxmax}$  происходит примерно в одной и той же точке для различных значений площади  $R_g$ , примерно на глубине  $h_a/H_0 = 0,50$  от линии дна, и максимальная осадка поверхности земли  $R_{uymax}$  происходит на одном и том же расстоянии от поверхности стены.

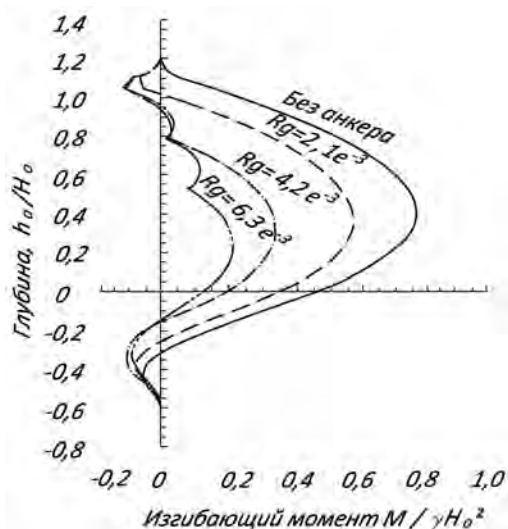


Рисунок 2 – Изгибающие моменты  $R_m$  вдоль шпунтовой причальной стенки в зависимости от различных величин  $R_g$

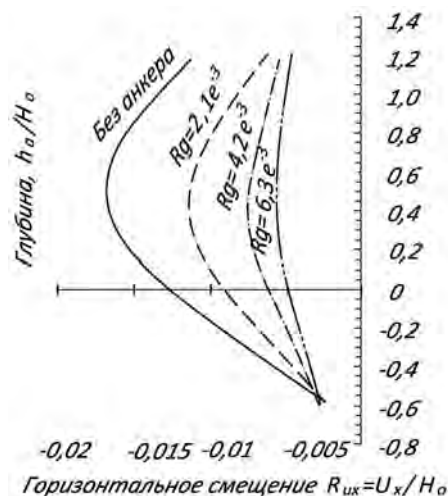


Рисунок 3 – Горизонтальное смещение  $R_{ux}$  вдоль шпунтовой причальной стенки в зависимости от различных значений  $R_g$



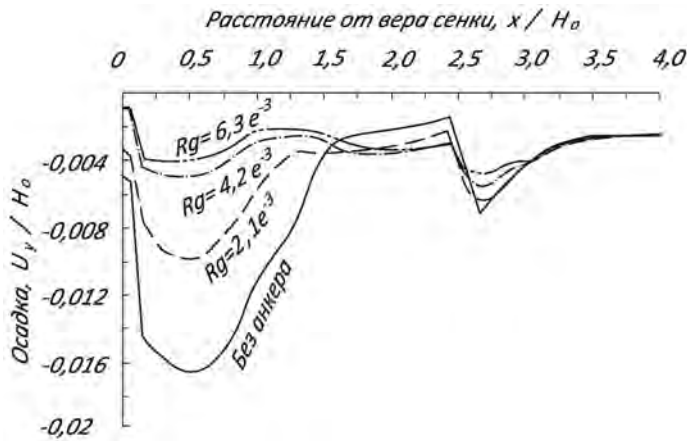


Рисунок 4 – Осадка поверхности земли  $R_{uy}$  вдоль шпунтовой причальной стенки в зависимости от различных значений  $R_g$

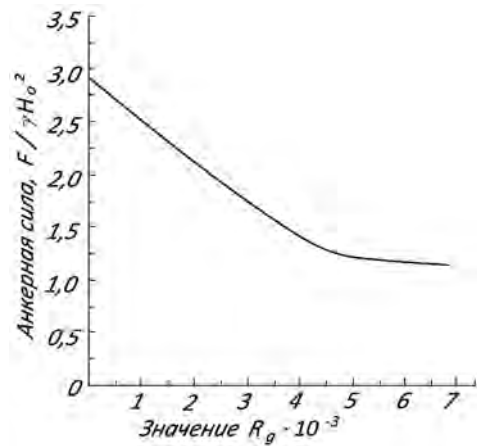


Рисунок 5 – Анкерная сила  $R_f$  в зависимости от различных значений  $R_g$

**Влияние наклона инъекционного анкера.** Исследованы четыре различных значения угла  $\alpha$  наклона дополнительной тяги ( $\alpha = 10^\circ; 20^\circ; 30^\circ$  и  $40^\circ$ ). Другие переменные системы считались постоянными.

В таблице 1 обобщаются результаты для различных значений угла наклона дополнительной тяги  $\alpha$ . Результаты показывают, что увеличение  $\alpha$  ведёт к увеличению максимального изгибающего момента  $R_{mmax}$ , изначальной анкерной силы  $R_{Fmax}$ , горизонтального смещение поверхности стены  $R_{ухmax}$  и осадки поверхности земли  $R_{ууmax}$ .

Таблица 1 – Результаты для наклона дополнительных тяг

$\alpha$	$R_{mmax}$	$R_{Fmax}$	$R_{ухmax} \cdot 10^{-3}$	$R_{ууmax} \cdot 10^{-3}$
10	0,361	1,295	7,299	5,884
20	0,372	1,365	7,391	6,042
30	0,414	1,601	7,867	6,709
40	0,536	2,168	9,561	9,489

Эти наблюдения показывают, что увеличение угла  $\alpha$  наклона инъекционного анкера не улучшает работу системы, а в целом уменьшает эффективность повышения несущей способности. Из предыдущих результатов следует, что использование почти горизонтальных инъекционных тяг является более целесообразным для улучшения структуры, чем использование наклонных. Причина в том, что увеличение угла наклона дополнительного анкера ведёт к снижению горизонтального отклика и увеличению силы натяжения в первоначальной конструкции, что снижает эффективность улучшения структуры [2].

**Влияние глубины инъекционного анкера.** Расстояние до дополнительной тяги от поверхности земли  $h_a$  играет важную роль в производительности стальных шпунтовых причальных стенок. Для её изучения было исследовано три значения отношения:  $R_t = h_a/H_0$  ( $R_t = 0,25; 0,50$  и  $0,75$ ). Другие переменных системы считались постоянными.

Таблица 2 – Результаты для глубины инъекционных тяг

$R_t$	$R_{mmax}$	$R_{Fmax}$	$R_{ухmax} \cdot 10^{-3}$	$R_{ууmax} \cdot 10^{-3}$
0	0,802	1,815	16,499	16,641
0,25	0,593	2,185	10,874	10,112
0,50	0,491	2,437	9,474	8,865
0,75	0,428	2,669	8,909	8,445

В таблице 2 представлены результаты для различных значений глубины дополнительной тяги. Результаты показывают, что увеличение глубины забетонированных тяг,  $h_a$  существенно уменьшает максимальный изгибающий момент  $R_{mmax}$ , горизонтальное смещение поверхности стены  $R_{ухmax}$  и осадку поверхности земли  $R_{ууmax}$ . К сожалению, это ведёт к значительному увеличению максимальной исходной анкерной силы  $R_{Fmax}$ , как показано в таблице 2. Наблюдения показывают, что увеличение отношения глубины забетонированных тяг к свободной высоте стенки  $R_t$  в целом улучшает работу структуры, но требуется компромисс, чтобы сбалансировать повышение исходной

анкерной силы  $R_F$ .

*Влияние длины бетонной заделки.* Для того чтобы неисправность не коснулась дополнительных анкеров, заливка производится на расстоянии в полтора метра от призмы обрушения грунта. Чтобы исследовать роль длины бетонной заделки  $L_g$  при повышении несущей способности причальной стенки, были протестированы пять значений отношения  $R_{lg} = L_g / H_0$ , ( $L_g / H_0 = 0,2; 0,3 \dots 0,6$ ). Другие переменные системы считались постоянными.

В таблице 3 представлены результаты для различных значений длины бетонной заделки  $R_{lg}$ . Из этих результатов можно заметить, что увеличение  $R_{lg}$  улучшает работу этого типа причальных стен. Также, оно уменьшает как максимальный изгибающий момент и горизонтальное смещение шпунтовой стены, так и максимальную осадку поверхности грунта и силу исходного анкера. Эти наблюдения показывают, что увеличение длины бетонирования  $R_{lg}$  ведёт к увеличению устойчивости структуры и, значит, улучшает работу стены. Результаты также показывают, что уменьшение внутренних сил незначительно, когда длина бетонирования  $R_{lg}$  больше 0,4. В случае данного исследования рекомендуется значение  $R_{lg}$  между 0,4 и 0,5.

*Таблица 3 – Результаты для длины бетонной заделки*

$R_{lg}$	$R_{mmax}$	$R_{Fmax}$	$R_{ухmax} \cdot 10^{-3}$	$R_{сумmax} \cdot 10^{-3}$
0,2	0,378	1,450	8,140	10,442
0,3	0,368	1,418	7,742	9,256
0,4	0,363	1,350	7,473	8,889
0,5	0,360	1,295	7,315	8,778
0,6	0,358	1,258	7,221	8,736

По результатам представленного параметрического исследования можно сделать несколько выводов, которыми следует руководствоваться для повышения несущей способности причальных стенок. Одним из наиболее перспективных способов восстановления или повышения несущей способности существующих причальных набережных является реконструкция причальных стенок с использованием инъекционных анкерных тяг. Результаты также показывают, что оптимальная длина бетонирования заделки находится в пределах между 0,40 и 0,50 от исходной высоты причальной стенки. Кроме того, наклон инъекционных тяг оказывает большое влияние на производительность системы. Минимальный практический угол наклона забетонированных тяг улучшает работу системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Strom, R.W. State of the Practice in the Design of Tall, Stiff, and Flexible Tieback Retaining Walls / R.W. Strom, R.M. Ebeling // Information Technology Laboratory U.S. Army Engineer Research and Development Center 3909 Halls Ferry Road Vicksburg, 2001.
- 2 ВСН-506-88. Проектирование и устройство грунтовых анкеров / Мин-во монтаж. и спец. строит. работ СССР. -М., 1989.
- 3 Будин, А.Я. Набережные: справ. пособие / А.Я. Будин, Г.А. Демина. -М.: Стройиздат, 1979.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *грунтовый анкер, больверк*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Кочуров Иван Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **АНАЛИЗ ЗАНЯТОСТИ ПУТЕЙ ПАРКОВ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПО РАСПИСАНИЮ**

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

**Ю.А. Чечулина**

**ANALYSIS OF FULLNESS OF TRACKS IN PARKS OF CLASSIFICATION YARD IN THE COURSE OF TRANSITIONING TO FIXED SCHEDULE FOR FREIGHT TRAIN OPERATIONS**

Siberian state transport university  
 Ju.A. Chechulina

The article describes the reserve of park capacities in classification yard for implementing a fixed schedule for freight train operations.

*Keywords: classification yard, scheduled train operation, fixed schedule, capacity, locomotive*

Приведено исследование резерва пропускной способности парков сортировочной станции для организации движения грузовых поездов по расписанию.

В настоящее время одной из значимых задач для эксплуатационной работы железнодорожного транспорта является переход к организации движения поездов по расписанию с использованием энергооптимальных графиков с твердыми нитками с обеспечением подвязки локомотивов и локомотивных бригад [1]. В 2013 производится внедрение автоматизированной системы построения прогнозных суточных энергосберегающих графиков движения поездов – АПК «ЭЛЬБРУС» на сети железных дорог России.

Условием оптимизации эксплуатационных затрат на перевозку для железнодорожного транспорта является организация перевозочного процесса с учетом установленного на данный период плана формирования грузовых поездов.

При любой технологии поездной работы для отправления поезда необходимо наличие четырех составляющих: состав, локомотив, локомотивная бригада и соответствующая «нитка» графика. В процессе их взаимной увязки возникают непроизводительные простои — ожидание составом локомотива, ожидание локомотивом локомотивной бригады и др.

На примере данных учета простоя вагонов по форме ДО-24ВЦ показана динамика изменения показателя ожидания электровоза в парке отправления станции Инская по месяцам на рисунке 1.

Значения показателя колеблются от 0,85 ч до 1,62 ч, а так как данный элемент простоя является непроизводительным, то его значение должно стремиться к 0. Из графиков тенденции к сокращению значения показателя нет.

В соответствии и технологическим процессом после обеспечения состава электровозом с локомотивной бригадой возникает простой готового грузового поезда в ожидании отправления – это может быть связано с ожиданием «нитки» графика движения поездов или в связи с занятостью выходных участков.

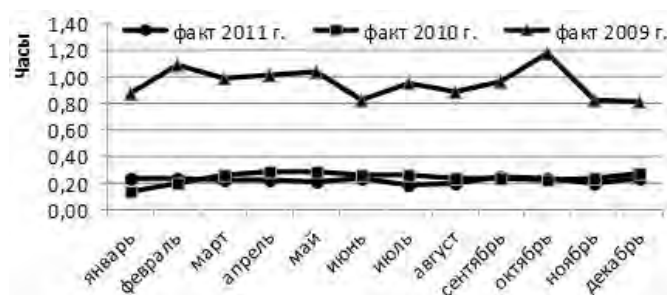


Рисунок 2 – Простой вагонов своего формирования в ожидании отправления, ч

ранее планировать подвод поездных локомотивов с бригадами к сортировочной станции, тем самым дает возможность свести элемент простоя составов в ожидании локомотива к минимуму. Организация движения грузовых поездов установленной весовой нормы по твердому графику с выделением устойчивого «ядра» поездов эффективна для наиболее мощных и стабильных назначений плана формирования (средней мощности, мощных и наиболее мощных) [2], однако применение этой технологии приведет к возможному увеличению загрузки парков станции.

Анализ загрузки парков станции Инская технологической линии нечетного направления показал:

- парк приема для поездов, прибывающих в расформирование, в среднем за сутки имеет загрузку 462 одновременно находящихся вагонов, максимальная загрузка – 547 вагонов;
- сортировочный парк в среднем за сутки имеет загрузку 1004 вагонов, максимальная

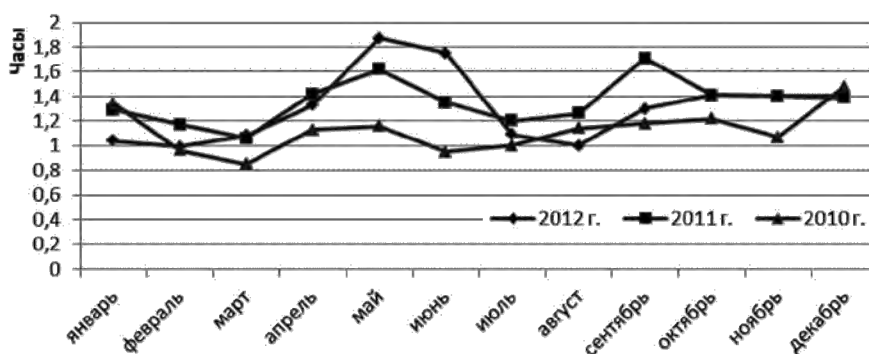


Рисунок 1 – Средний простой вагонов своего формирования в парке отправления станции Инская в ожидании локомотива, ч

Как видно из рисунка 2, элемент «ожидание отправления поезда», начиная с 2010 года, составляет значительную величину.

В результате анализа следует, что основным лимитирующим элементом простоя вагонов своего формирования в парке отправления является ожидание локомотива, суммарный непроизводительный простой в парке отправления составляет в среднем 2,46 ч.

Применение организации движения поездов по твердому графику позволит заранее

загрузка – 1166 вагонов;

– парк отправления в среднем за сутки имеет загрузку 532 одновременно находящихся вагонов, максимальная загрузка – 678 вагонов.

Общая загрузка парков станции – 2392 одновременного нахождения вагонов, вероятная при существующих повышенных объемах – 2796 вагонов.

Резерв пропускной способности парка отправления сформированных поездов отображен на рисунке 3.

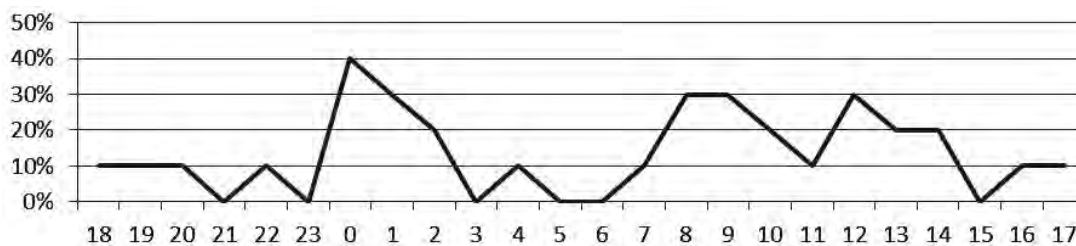


Рисунок 3 – Суточный резерв пропускной способности парка, %

Из диаграммы видно, что резерв пропускной способности парка отправления отсутствует в некоторые периоды суток – это может привести к задержке перестановки готовых составов из сортировочного парка в отправочный, а при занятости всех путей сортировочного парка – к невозможности роспуска составов с горки и неприему разборочных поездов.

При отправлении грузовых поездов по готовности (существующая технология, традиционная для отечественных железных дорог) времена готовности состава, локомотива, локомотивной бригады, наличие свободной «нитки» графика, взаимная увязка «ниток» по впередилежащим техническим станциям носят вероятностный характер, что увеличивает непроизводительные простои. Фактическое отправление поездов ведется без учета возможностей их рационального пропуска по участкам и беспрепятственного приема впередилежащими станциями и узлами. При такой технологии из-за малых глубины и точности прогноза вагонопотоков в существующих условиях оперативного планирования поездной работы на удлиненных участках обращения локомотивов невозможно обеспечить их своевременную пересылку резервом по регулировке. Это приводит к тому, что на одних станциях накапливается избыточное число локомотивов, а на других их наличия недостаточно для своевременного вывоза готовых поездов. В результате возникают дополнительные простои готовых составов в ожидании отправления. Кроме того, в условиях, когда фактическое количество поездов достигает заявленного уровня лишь в отдельные сутки, неизбежны длительное (до 2 ч и более) ожидание локомотивными бригадами начала их работы в пункте приписки, а также отмены очередных поездок в одних случаях и простои составов из-за отсутствия локомотивных бригад – в других.

Применение технологии движения грузовых поездов по расписанию гарантирует отправление готового состава по «твердой нитке», не только обеспеченной локомотивом и локомотивной бригадой (на основе заданного на определенный период графика оборота локомотивов), но и согласованной по направлению следования. Это существенно уменьшает непроизводительные потери времени. Каждый состав формируется строго ко времени заданной нитки графика, обеспеченной локомотивом и локомотивной бригадой. Такая технология наиболее полно отвечает современным условиям перевозок и требованиям гарантированной доставки груза клиентуре в установленный срок. В соответствии с вышеизложенным понятие «просидки» для локомотивных бригад при организации работы по твердым «ниткам» графика будет воспринято как некорректное, так как основным достоинством организации движения является повышение производительности локомотивов вследствие подачи их и локомотивных бригад под поезда в заранее обусловленное время.

Для организации движения по твердым ниткам в настоящее время недостаточно изучены процессы составления в части использования перерабатывающей способности сортировочных станций для накопления составов поездов с отправлением по расписанию. Вследствие недопустимости сокращения резерва пропускной способности направлений и формирования поездов установленного веса при установленном размере ядра твердых «ниток» в общем поездопотоке увеличиваются затраты времени в сортировочном парке. Их величина определяется долей поездов, отправляемых по расписанию, мощностью струй

формируемых назначений и техническими параметрами сортировочной системы.

Увеличение затрат времени нахождения вагонов в сортировочном парке объясняется следующим: если состав накоплен в сортировочном парке, произведено окончание формирования, он готов к перестановке, но время до «нитки» имеется большее, чем время перестановки, обработки в парке, а также подготовкой к отправлению поезда, то состав имеет дополнительное время простоя.

Доля «твердых» ниток в графике должна определяться с учетом станционных ограничений в парках систем (количество диспетчерских путей). Ранее была принята система [3], согласно которой на одно назначение плана формирования выделялся 1 сортировочный путь (при мощности назначения более 200 вагонов в сутки – 2 пути), также в зависимости от объема работы выделяются 1-3 пути для компенсации неравномерности поступления вагонопотоков отдельных назначений. Кроме этого, на 4 сортировочных пути выделяется один диспетчерский путь.

При переходе к принципиально новой организации движения поездов необходимо определить количество путей в сортировочном парке для накопления составов по определенным назначениям плана формирования согласно специализации, затем с учетом мощности назначения выделить определенное количество поездов «ядра», выделить количество сортировочных путей в парке для внутростанционных нужд (1-3 пути для занятости их составами в ожидании твердой «нитки» графика), а также пути для углового потока и подборки вагонов по группам

Таким образом, организация движения грузовых поездов по расписанию приведет к исключению непроизводительного простоя вагонов в ожидании поездных локомотивов, локомотивных бригад, но повлечет за собой увеличение затрат времени нахождения вагонов в сортировочном парке в ожидании твердой «нитки». Для этого необходимо удовлетворить потребность станции в сортировочных путях путем изменения специализации путей и добавления определенного количества путей, которое в первую очередь будет зависеть от величины «ядра» поездов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бородин, А.Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений / А.Ф. Бородин // Тр. ВНИИАС. -2008. -Вып.6. -С. 229.
- 2 Чечулина, Ю.А. Работа сортировочной станции в условиях перехода к организации движения грузовых поездов по твердому графику / Ю.А. Чечулина, О.П. Югина // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 85-87.
- 3 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. -М.: ТЕХИНФОРМ, 2001. -97 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сортировочная станция, движение поездов по расписанию, твердый график, пропускная способность, локомотив

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Чечулина Юлия Андреевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

## **БЕЗОПАСНОСТЬ СУДОХОДСТВА НА р. ОБЬ НА УЧАСТКЕ НОВОСИБИРСКАЯ ГЭС – УСТЬЕ р. ТОМИ**

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

**А.Ю. Лапай**

**SAFETY OF NAVIGATION ON THE RIVER OB IN THE AREA NOVOSIBIRSK HPS – THE MOUTH OF THE RIVER TOM**  
Novosibirsk state academy of water transport

A.Yu. Lapay

The results of studies of the level regime of the Ob River, the curves of the free surface, the results of the project marks an overview of the method of prediction of water levels. The proposals to improve the safety of waterways from the land Ob.

*Keywords: design level, the river bed quarry, safety of navigation, the forecast levels*

Приведены результаты исследований уровненного режима р. Обь, кривых свободной поверхности, результаты анализа проектных отметок, обзор метода прогноза уровней воды. Сформулированы предложения по улучшению безопасности водных путей на рассматриваемом участке Оби.

Безопасность судоходных условий складывается из двух составляющих: поддержание водных путей в надлежащем состоянии и гидрометеорологическое обеспечение. Гарантиро-

ванные габариты судового хода устанавливаются на основании величины проектного уровня и поддерживаются путем выполнения дноуглубительных работ и мероприятий по закреплению судоходной трассы. Гидрометеорологическое обеспечение, в частности фактическая и прогностическая информация об уровнях воды, позволяет оценить дифференцированные габариты судового хода.

Ниже плотины Новосибирской ГЭС взаимодействие антропогенных и естественных факторов развивается неодинаково по длине реки, что определяет разделение нижнего бьефа на ряд участков. Наиболее отчетливо выделяется участок прилегающий к плотине, где ярко проявляются все антропогенные факторы: сезонное регулирование стока, отсутствие большей части влекомых наносов, неустановившееся движение потока, изменение температурного режима. Протяженность второго участка определяется доминирующим фактором – влиянием измененного режима стока воды, в данном случае распространяющемся до г. Колпашево [2].

В настоящее время наблюдается ухудшение судоходных условий на участке р. Оби ниже Новосибирской ГЭС из-за посадки уровней воды, особенно в меженьный период, вызванных регулированием стока в нижнем бьефе и последствиями добычи ПГС. Совпадение карьерных разработок в русле и глубинной эрозии в нижнем бьефе, развитию которой способствовало регулярное землечерпание, привело к значительной посадке уровней на всем протяжении нижнего бьефа, особенно на городском участке, где расположены основные объекты инфраструктуры водообеспечения городского хозяйства и промышленности. При этом судоводы, причалы, мосты, переходы трубопроводов и другие инженерные сооружения, спроектированные в расчете на естественный гидрологический и русловый режим, оказываются в неблагоприятных условиях эксплуатации. В процессе размыва обнажаются выходы скальных пород на дне, при карьерных разработках наблюдается перераспределение расходов воды по рукавам, что создает дополнительные трудности и способствует появлению сложных для осуществления судоходства участков реки [1].

Исследование уровня режима на опорных гидрологических постах рассматриваемого участка реки показало, что на них с различной интенсивностью происходит понижение минимальных за период открытого русла уровней воды на всем протяжении зоны влияния Новосибирской ГЭС на уровеньный режим (до г. Колпашево). Анализ среднегодовых расходов воды выявил, что понижение уровней воды происходит на фоне уменьшения водности, что создает еще более неблагоприятные условия для судоходства.

В зоне разработки русловых карьеров в совокупности с эрозией русла реки на приплотинном участке Новосибирской ГЭС до настоящего времени происходит посадка уровней воды. Но её интенсивность уменьшилась почти в три раза, что обусловлено замедлением глубинной эрозии и уменьшением числа русловых карьеров в непосредственной близости от Новосибирска.

Перерасчет проектных отметок уровней воды не проводился довольно длительный период. На участках рек, где в больших объемах выполняются землечерпательные работы, для обеспечения гарантированных габаритов судового хода рекомендуется проводить корректировку проектных уровней через 3-5 лет [4], так как от этого напрямую зависит безопасность внутренних водных путей, продолжительность навигации, объем грузоперевозок и их экономическая эффективность. Анализ проектных отметок показал, что принятые в данное время проектные уровни намного выше уровней, которые соответствуют 95-98% по кривым обеспеченности, построенным на данных об уровнях воды за последние 25 лет.

Качественный прогноз уровней воды с максимально возможной заблаговременностью важен для различных отраслей. В качестве примера можно привести экстремально низкие уровни летне-осенней межени на реках бассейна Верхней и Средней Оби в 2012 году, которые стали причиной досрочного закрытия навигации. При приближении уровней воды к проектным отметкам прогноз следует использовать при выборе судна и планировании объема грузоперевозок, а так же при производстве дноуглубительных работ для обеспечения безопасности на водных путях. При прохождении половодья и дождевых паводков прогнозы уровней воды так же необходимы для принятия управленческих решений и проведения превентивных мер по предотвращению катастрофических последствий. Примером может служить паводок на р. Амур (Дальний Восток), когда изменение уровня воды даже на несколько сантиметров влияло на принятия того или иного решения для обеспечения безопасности, в том числе и эвакуации жителей. В целях улучшения гидрометеорологического обеспечения безопасности судоходства был разработан метод краткосрочного прогноза уровней воды

для зарегулированного участка р. Оби в районе г. Новосибирск. Метод основан на применении нейронных сетей, прикладное использование которых в последнее время в различных отраслях производства активно развивается. Основными достоинствами метода являются: гибкая структура вычислений (перенастройка весовых компонентов расчетных уравнений), одинаковая успешность прогнозов для зарегулированного и естественного участка реки, автоматизированность расчета и малое количество необходимых для прогноза исходных данных (значение уровней воды), а так же несложное в использование программное обеспечение, на котором реализуется программа для выпуска прогноза.

При расположении карьеров на участках рек, в том числе и многорукавных, для оценки их влияния на условия безопасности судоходства необходимо решить две взаимосвязанные задачи: определение отметок свободной поверхности воды и распределение расходов воды по рукавам (оценка изменения водности рукавов). Доказано, что уравнения неразрывности потока и равенства нулю алгебраической суммы падений уровней свободной поверхности по замкнутому пути многорукавного участка русла аналогичны уравнениям для электрических токов в цепях постоянного тока и, по сути, являются системой уравнений Кирхгофа [3]. Исследования кривых свободной поверхности и перераспределения расходов воды по рукавам для данного участка реки было проведено с помощью решения уравнений Кирхгофа методом минимизации функции суммарных потерь в случае разработки одного и двух карьеров для бытового и проектного состояний русла (рисунок). Было установлено, что разработка каждого из карьеров по отдельности может привести к посадке уровней воды, распространяющейся, в основном, в пределах самого карьера и выше по течению. В случае разработки карьеров последовательно или одновременно общая посадка уровней воды может равняться сумме посадок от каждого карьера.

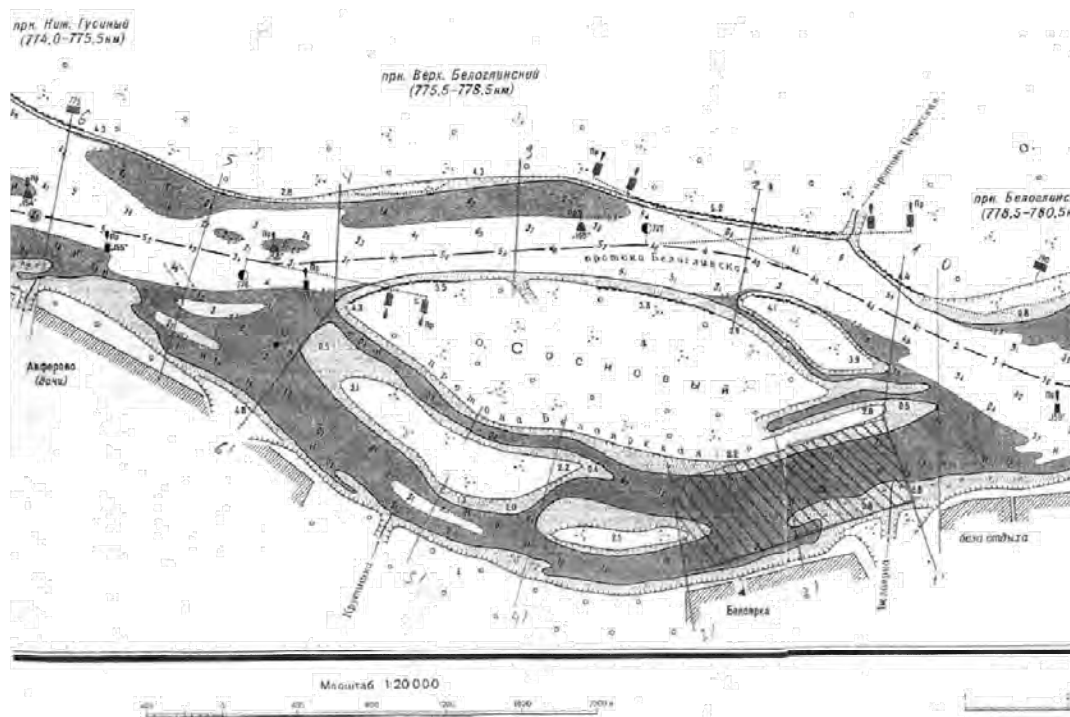


Рисунок – Схема к расчету отметок кривой свободной поверхности

Так как участок р. Обь ниже плотины Новосибирской ГЭС до устья р. Томи является самым грузонапряженным, то планомерное развитие на нем водного транспорта возможно только при наличии долгосрочного плана развития отрасли. Для обеспечения безопасности судоходства и поддержания гарантированных глубин существует необходимость рассмотреть на федеральном уровне вопрос изменения величины проектных уровней воды на некоторых опорных гидрологических постах. Проведенный расчет отметок свободной поверхности воды показал необходимость проведения комплексной оценки влияния разработки русловых карьеров на посадку уровней воды. Это позволит более точно оценить проектное состояние реки при разработке нового карьера и его влияния на остальные объекты, а так же на условия безопасности судоходства с учетом возможной суммарной посадки уровней во-

ды в условиях совместной разработки нескольких русловых карьеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Беркович, К.М. Русловые процессы и русловые карьеры / К.М. Беркович. -М., 2005. -109 с.
- 2 Виноградова, Н.Н. Влияние изменений гидрологического режима и хозяйственной деятельности на состояние русла р. Оби в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС / Н.Н. Виноградова, С.Н. Рулева // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. -1982. -№1. -С. 38-44.
- 3 Программный модуль для расчета распределения расходов и построения свободной поверхности в многоруканном участке реки / Н.В. Голышев, С.В. Моторин, В.М. Ботвинков, А.В. Ботвинков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. - 2012. -№1. -С. 158-161.
- 4 Седых, А.И. Путевые работы на судоходных реках: справ. пособие / А.И. Седых, Ф.М. Чернышов, А.В. Кабанов. -М.: Транспорт, 1978. -328 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** проектный уровень, русловой карьер, безопасность судоходства, прогноз уровней  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Лапай Анна Юрьевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**О.В. Приданова**

**REGULATORY SUPPORT OF THE SAFETY AND RELIABILITY OF HYDROTECHNICAL BUILDING**  
Novosibirsk state academy of water transport  
O.V. Pridanova

The analysis of the structure of the existing legal and regulatory framework in the field of safety and reliability of hydrotechnical building, which identified the main features of the effectiveness of the normative requirements.

*Keywords: safety, reliability, hydrotechnical building, regulatory support*

Выполнен анализ структуры существующего нормативного правового регулирования в сфере обеспечения безопасности и надежности гидротехнических сооружений, который позволил выявить главные особенности эффективности нормативных требований.

Одним из главных приоритетных направлений государственной политики в области безопасности и надежности гидротехнических сооружений является создание и развитие соответствующей нормативно-правовой и методической базы.

Любая деятельность в этой области, если она не регламентирована законами государства, обречена на низкую эффективность. Более того, признавая полезность такой деятельности и ее необходимость, органы государственной власти и управления, организации, эксплуатирующие гидротехнические сооружения не станут, как правило, относиться к ней по-настоящему ответственно и заинтересованно, если отсутствуют соответствующие законы и другие нормативные правовые акты.

На сегодняшний день уровень безопасности и надежности гидротехнических сооружений в Российской Федерации в некоторой степени не соответствует требованиям Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» [1]. Большинство сооружений, существующих на внутренних водных путях России, имеют значительные сроки эксплуатации. Свыше 50% ГТС находятся в эксплуатации 50-75 лет и более.

После распада Советского Союза возникли новые экономические условия эксплуатации сооружений, началась массовая приватизация объектов инфраструктуры, где главной целью являлось извлечение прибыли, и о необходимости соблюдать правила технической эксплуатации сооружений не могло быть и речи. Снижение объемов и уровня ремонтно-профилактических работ в 1990-2000 годы вызвало массовые проявления износа и старения. Шло время, прежние кадры сменялись новыми. В результате экономических преобразований и появления новых законов и законодательных актов возникли новые отношения между исполнителями, осуществляющими техническую эксплуатацию гидротехнических сооружений, и остальными участниками эксплуатации.

Поэтому важнейшей задачей для поддержания и восстановления ресурса эксплуатируемого сооружения является своевременное выявление и устранение дефектов.

Безопасность портовых гидротехнических сооружений, прежде всего, обеспечивается



соблюдением нормативных требований к эксплуатации гидротехнических сооружений. В настоящее время эти требования определены в РД 31.35.10-86 «Правила технической эксплуатации портовых сооружений и акваторий» [2], которые были приняты еще в 1986 году и часть их положений не соответствует нынешней реальности, особенно в части ответственности за те или иные вопросы эксплуатации. На сегодняшний день эти правила пока не изменены и используются скорее как справочный материал, а не как правила выполнения необходимых обязательных действий.

Взамен этих правил были разработаны технические регламенты «О безопасности объектов морского транспорта» [3] и «О безопасности объектов внутреннего водного транспорта» [4], утвержденные и вступившие в силу в 2010 году, где вопросы, связанные с техническим надзором, освидетельствованием гидротехнических сооружений и аккредитации организаций, достаточно хорошо прописаны.

Для того чтобы обеспечивать безопасность эксплуатируемых в портах гидротехнических сооружений, необходимо и достаточно выполнять требования, предусмотренные техническими регламентами. Ежегодно выполняемые органами государственного надзора проверки этих сооружений должны сводиться к оценке их соответствия требованиям технических регламентов [3, 4].

Согласно Российского законодательства [1] ответственность за обеспечение безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений, возложена на их собственника. Из огромного количества гидротехнических сооружений, эксплуатирующихся в России, только незначительная часть находится в федеральной собственности, остальные – находятся в собственности хозяйствующих субъектов (ОАО, ЗАО, ООО и т.д.). А собственники в свою очередь, в том числе и федеральные, очень неохотно вкладывают средства в повышение безопасности ГТС.

Утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2012 г. №350 Федеральной целевой программой «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» [5] устанавливается порядок выделения субсидий субъектам Российской Федерации на капитальный ремонт гидротехнических сооружений, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, и бесхозных. До 2020 года включительно на эти цели предусмотрено 40,8 млрд. рублей.

Для повышения квалификации и ответственности исполнителей были приняты федеральные законы «О саморегулируемых организациях» [6] и «Градостроительный кодекс РФ» [7]. Этими законами государство сняло с себя ответственность проверять и подтверждать квалификацию исполнителей в области изысканий, проектирования и строительства путем лицензирования и перенесла ее на самих исполнителей.

Для повышения качества экспертиз сооружений федеральным законом «О техническом регулировании» [8] и соответствующими национальными стандартами предусмотрен порядок аккредитации экспертных организаций уполномоченными федеральными органами в качестве органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров).

В 2011-2013 гг. законодательная база в области безопасности гидротехнических сооружений пополнилась требованиями, которыми устанавливается необходимость разработки портовиками деклараций о безопасности сооружений по форме и схемам, регламентированным федеральным законом [1].

Разработан национальный стандарт ГОСТ Р 54523-2011 «Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [9] и введен в действие Росстандартом 01.03.2012 г., чтобы обеспечить исполнение требований технических регламентов [3] и [4] к объектам инфраструктуры портов при их эксплуатации, и подготовлен для его включения в утверждаемый Правительством РФ перечень стандартов, необходимых для исполнения технических регламентов. В нем содержатся все необходимые для исполнения этих требований правила и формы документов, включая формы декларации о соответствии и паспорта портового гидротехнического сооружения.

Постановлением Правительства РФ от 27 октября 2012 г. №1108 утверждено «Положение о федеральном государственном надзоре в области безопасности гидротехнических сооружений» [10], которым портовые гидротехнические сооружения внесены в число объектов государственного контроля (надзора), осуществляемого Федеральной службой по надзору в сфере транспорта в портах путем проведения проверок пользователей сооружений.

В связи с вступлением в законную силу [4] и [9], а также продолжающимися действовать

требованиями [2], органами Ространснадзора и Ростехнадзора значительно ужесточены меры административного воздействия к собственникам причалов и эксплуатирующим причалы организациям в отношении обеспечения безопасности причальных сооружений.

Особое внимание органами надзора уделяется вопросам проведения технического комплексного обследования причальных сооружений, которое согласно [9] должно проводиться не реже 1 раза в 5 лет (по истечению свидетельства о годности сооружения к эксплуатации), наличия паспорта по форме, утвержденной в [9], и декларации соответствия причала.

Обследование технического состояния и разработка паспортов причальных сооружений согласно Технического регламента осуществляется лишь специализированными организациями, имеющими свидетельства на данный вид исследовательских и изыскательских работ и опыт обследования причалов не менее 5 лет.

Рассматриваемые при государственном надзоре вопросы достаточно тесно связаны с контрольно инспекторскими обследованиями и освидетельствованиями портовых гидротехнических сооружений и в значительной мере опираются на эти работы. В связи с этим весьма серьезным становится вопрос качества работ по освидетельствованию сооружений. В ходе проверок Ространснадзор сталкивается с ситуацией, когда освидетельствования проводятся не качественно, что в свою очередь вызывает определенную тревогу.

24 июня 2012 года вступил в силу Приказ Федеральной службы по надзору в сфере транспорта (Ространснадзор) от 12 апреля 2012 г. №А/с170/1фс г. Москва «Об определении Перечня экспертных центров для проведения экспертизы деклараций безопасности судовых гидротехнических сооружений, поднадзорных Федеральной службе по надзору в сфере транспорта», где утверждены экспертные центры, которым с принятием технического регламента предстояло пройти сложный путь превращения в эти органы, приведения себя в соответствие с требованиями вышеуказанных документов.

Весной 2013 года Ростехнадзором разработан проект федерального закона «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам обеспечения безопасности бесхозных гидротехнических сооружений».

Законопроектом предлагается наделить органы государственной власти субъектов Российской Федерации полномочием по проведению капитального ремонта, консервации или ликвидации бесхозных гидротехнических сооружений в целях обеспечения их безопасности, а органы местного самоуправления – полномочием по постановке их на учет в качестве бесхозной недвижимой вещи в соответствии с гражданским законодательством.

Устанавливаются обязательные требования к консервации и ликвидации гидротехнических сооружений. Органы надзора наделяются полномочием по установлению требований к содержанию правил эксплуатации гидротехнических сооружений. Законопроектом конкретизируется сфера применения законодательства о безопасности гидротехнических сооружений, уточняется его понятийный аппарат.

Ответственность по проведению мероприятий по капитальному ремонту, консервации и ликвидации бесхозных гидротехнических сооружений возлагается на органы исполнительной власти субъектов РФ, на территории которых эти сооружения находятся.

В заключении следует отметить основные проблемы в области безопасности гидротехнических сооружений:

1 Необходимо повышение уровня безопасности ГТС посредством их реконструкции и капитального ремонта, ликвидация бесхозных ГТС. Из общего количества поднадзорных ГТС менее 1/3 соответствуют нормальному уровню безопасности.

2 Дефицит инженеров-гидротехников с высшим образованием в водохозяйственном комплексе России составляет около 15 тыс. человек. В несколько раз уменьшен выпуск по госзаказу данных специалистов.

3 Необходима разработка, во взаимодействии с МЧС России, единой методики определения размера вреда в результате аварии ГТС, программы обследования ГТС, проверки оснащенности ГТС контрольно-измерительной аппаратурой и соответствия требований проектов и ведения мониторинга.

4 Следует продолжить усовершенствование законодательной и нормативной базы в области безопасности ГТС (подготовка проекта федерального закона, предусматривающего обязательное страхование гражданской ответственности при эксплуатации ГТС и др.)

Наличие таких мер позволит реально улучшить ситуацию с безопасностью гидротехнических сооружений и существенно облегчит работу специалистов в области надзора.

Переходя к новой структуре нормативного правового регулирования в сфере обеспече-

ния безопасности ГТС, еще требуется дополнительная работа по актуализации этих документов, так чтобы не оставить вновь возводимые и существующие сооружения без соответствующей подзаконной регламентации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 О безопасности гидротехнических сооружений: федер. закон РФ №117-ФЗ от 21 июля 1997 г. // Собр. законодательства РФ. -1997. -№30.
- 2 РД 31.35.10-86. Правила технической эксплуатации портовых сооружений и акваторий / Минморфлот СССР. -М.: В/О «Мортехинформреклама», 1988.
- 3 Технический регламент «О безопасности объектов морского транспорта»: утв. постановлением Правительства Рос. Федерации от 12 авг. 2010 г. №620.
- 4 Технический регламент «О безопасности объектов внутреннего водного транспорта»: утв. постановлением Правительства Рос. Федерации от 12 авг. 2010 г. №623.
- 5 О Федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах»: постановление Правительства РФ от 19.04.2012 г. №350 (ред. от 30.12.2012 г.) // Собр. законодательства РФ. -2012. - №18.
- 6 О саморегулируемых организациях: федер. закон от 01.12.2007 г. №315-ФЗ.
- 7 Градостроительный кодекс Российской Федерации: федер. закон от 29.12.2004 №190-ФЗ (ред. от 19.04.2013).
- 8 О техническом регулировании: федер. закон от 27.12.2002 г. №184-ФЗ // Собр. законодательства РФ. -2002. -№52, Ч.1.
- 9 ГОСТ Р 54523-2011. Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
- 10 Положение о федеральном государственном надзоре в области безопасности гидротехнических сооружений: утв. постановлением Правительства Рос. Федерации от 27.10.2012 г. №1108.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *безопасность, надежность, гидротехнические сооружения, нормативно-правовая база*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Приданова Оксана Викторовна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗОНЕ КОНТАКТА С НАГЕЛЯМИ КРЕСТООБРАЗНОГО СЕЧЕНИЯ**

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**  
**ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»**

**А.М. Попов, В.Б. Зиновьев, В.Н. Шведов**

**ANALYSIS OF STRAIN OF ELEMENTS OF BRIDGT STRUCTURES IN THE CONNACTAST WITH NAIL CROSSWISE SECTION**  
Siberian state transport university  
Novosibirsk state university of architecture and civil engineering  
A.M. Popov, V.B. Zinovjev, V.N. Shvedov

The paper proposes to connect the wooden elements of the bridge structure, use nail crosswise section. Using the method of golorapfic interferometry investigated deformed state wood in the area of contacted with nail. The technique of allowed distance between the axis of the nail.

*Keywords: bridge, strength, holographic interferometer, a compound of wooden elements, nail*

Предлагается, для соединения деревянных элементов мостовых конструкций, использовать нагели крестообразного сечения. С помощью метода голографической интерферометрии исследовано деформированное состояние древесины в зоне контакта с нагелем. Изложена методика оценки допустимых расстояний между осями нагелей.

В настоящее время при изготовлении и ремонте деревянных мостовых конструкций широко применяются соединения на стальных цилиндрических нагелях, высокопрочных гвоздях, шайбах нагельного типа и клеевых соединениях. Перспективным представляется применение в соединениях высокопрочных нагелей крестообразного сечения, забиваемых огнестрельным способом или вдавливаемых с помощью прессового оборудования. При этом соединение получается плотным и исключается операция сверления отверстий, необходимая для установки цилиндрических нагелей. При нагружении нагеля вокруг нагельного гнезда возникает сложное напряженно-деформированное состояние. В случае забивки нескольких нагелей в деревянный элемент, неоднородности полей напряжений могут перекрывать, существенно увеличивая опасность разрушения соединения.

Эффективно оценить деформированное состояние древесины в зоне контакта с нагелями можно с помощью методов голографического муара и голографической интерферо-

метрии [1-4]. Эти методы основаны на применении голографического способа записи информации во встречных пучках, что позволяет исследовать натурные конструкции с низкими требованиями к виброзащите исследуемого объекта.

Метод голографического муара с использованием металлизированных высокочастотных растров был успешно применен нами для исследования деформированного состояния древесины в зоне контакта с нагелями крестообразного сечения, забитыми огнестрельным методом [5-7]. В настоящей работе рассматриваются особенности и результаты применения метода голографической интерферометрии.

В работе [2] получены уравнения для интерпретации интерференционных полос, наблюдаемых в отраженном свете, голограммой записанной в две экспозиции

$$U_B \cos \alpha + V_B \cos \beta + W_B (1 + \cos \gamma) = N\lambda, \quad (1)$$

а для оптических картин, наблюдаемых на просвет, уравнение

$$\begin{aligned} & [U_B \cos \alpha + V_B \cos \beta + W_B (1 + \cos \gamma)] - \\ & - [U_D \cos \alpha_R + V_D \cos \beta_R + W_D (1 + \cos \gamma_R)] = N\lambda. \end{aligned} \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) искомыми величинами являются компоненты  $U, V$  и  $W$  вектора перемещения  $\Delta \vec{r}$ . Направляющие углы наблюдения  $\alpha, \beta, \gamma$  задаются экспериментатором при выборе направления наблюдения за точкой объекта, а направляющие углы вектора рассеянного света  $\alpha_R, \beta_R$  и  $\gamma_R$  определяются параметрами индикатрисы рассеивания материала поверхности изделия;  $N$  - порядок интерференционных полос, определяемый в эксперименте.

При исследовании плоских участков поверхности или участков, кривизной которых можно пренебречь  $\alpha_R = 90^\circ; \beta_R = 90^\circ, \gamma_R = 0^\circ$ , а уравнение (2) принимает вид

$$U_B \cos \alpha + V_B \cos \beta + W_B (1 + \cos \gamma) - 2W_D = N\lambda. \quad (3)$$

Для отдельного определения компонент вектора по картинкам интерференционных полос, наблюдаемых в отраженном голограммой свете, обычно регистрируют картины полос, наблюдаемых с симметричных относительно нормали к регистрирующей среде направлений. Если направления наблюдений лежат в плоскости  $hoz$ , то разрешающие принимают вид:

$$U_B \sin \gamma + W_B (1 + \cos \gamma) = N_1 \lambda; \quad -U_B \sin \gamma + W_B (1 + \cos \gamma) = N_2 \lambda, \quad (4)$$

здесь  $N_1$  и  $N_2$  порядки интерференционных полос в картинах наблюдаемых с симметричных направлений. Компонента вектора перемещения лежащая в плоскости регистрации определяется выражением

$$U_B = \frac{(N_1 - N_2) \lambda}{2 \sin \gamma}. \quad (5)$$

Для повышения отражательной способности поверхности деревянного бруса создается специальный отражательный слой. Предварительно на поверхность бруса наносится тонкий слой эпоксидного клея. Затем на клеевой слой равномерно напыляется алюминиевая пудра. После этого у поверхности закрепляется высокоразрешающая среда (фотопластинка ПФГ-3М). Фотопластинка крепилась эмульсией к образцу.

В массив древесины, с помощью пресса ДМ-30М, вблизи фотопластинки вдавливался нагель и образец выдерживался в течении 1,5-2,0 ч, чтобы прекратилась ползучесть материала древесины. Затем производилась первая экспозиция. После нагружения нагеля с помощью пресса ДМ-30М производилась вторая экспозиция. При восстановлении голограмма освещалась коллимированным белым светом, и фотографировались картины полос, наблюдаемые в отраженном свете. На рисунке 1 приведены фотографии интерферограмм.

Деформации древесины, вызванные усилиями, передаваемыми нагелям, можно представить как сумму деформаций от равномерно распределенной нагрузки и от самоуравновешенной нагрузки, характеризующей неоднородность деформированного состояния, обусловленной локальностью приложения нагрузки. При расчете нагельных соединений, состояния между нагелями следует выбирать таким, чтобы неоднородности деформированных состояний, вызванные разными нагелями, не перекрывались.

Неоднородность деформированного состояния может характеризоваться изменением сдвиговой деформации.

Как следует из (5) в случае линейной аппроксимации распределения компоненты  $U$ ,

компонента сдвиговой деформации может быть определена соотношением

$$\frac{dU}{dy} = \frac{\Delta N}{h} \frac{\lambda}{\sin \gamma}, \quad (6)$$

где  $\Delta N$  – разность величин  $(N_1 - N)/2$  определенная в точках с одинаковой координатой  $x$  в разных сечениях;  
 $h$  – расстояние между сечениями.

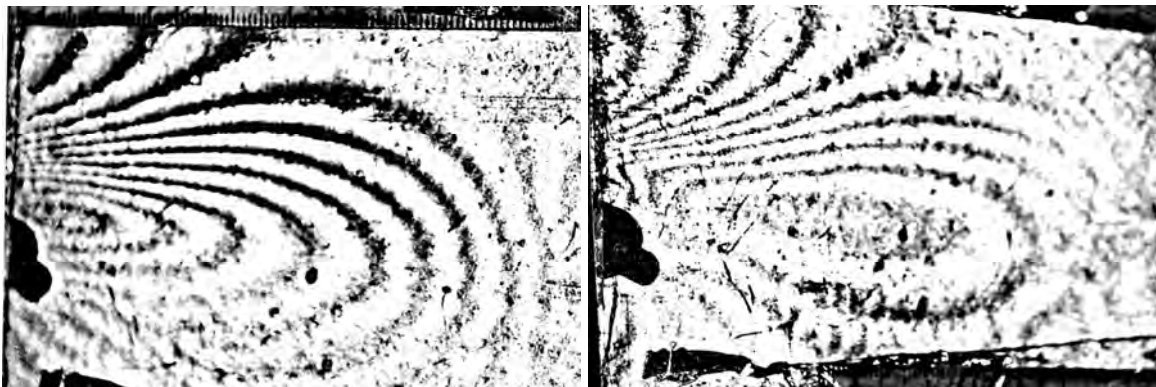


Рисунок 1 – Фотографии интерферограмм (нагель 14 мм, нагрузка 400 Н)

Ранее отмечалось, что затухание возмущения, вызванного приложением самоуравновешенной нагрузки, носит экспоненциальный характер [8,6]. Поэтому можно предположить, что сдвиговая деформация  $dU/dy$  описывается выражением

$$\frac{dU}{dy} = C \exp\left(-\frac{x}{\tau}\right).$$

Тогда

$$\ln \frac{dU}{dY} = \ln C - \frac{x}{\tau} = \ln \Delta N + \ln \frac{\lambda}{h \sin \gamma}. \quad (7)$$

Следовательно, за постоянную затухания возмущения  $\tau$ , можно принять расстояние, на котором величина  $\ln \Delta N$  уменьшается на единицу.

На рисунке 2 приведены графики изменения  $\ln \Delta N$  вдоль волокон древесины вблизи нагелей. Как видно из рисунка, полученные данные хорошо ложатся на прямые, что подтверждает предположение об экспоненциальной зависимости деформаций. По построенным прямым можно определить постоянные затухания. При нагружение нагеля 14 мм усилием 400 Н постоянная затухания равняется 1,80 см. Для нагеля 16 мм постоянная затухания 1,95 см.

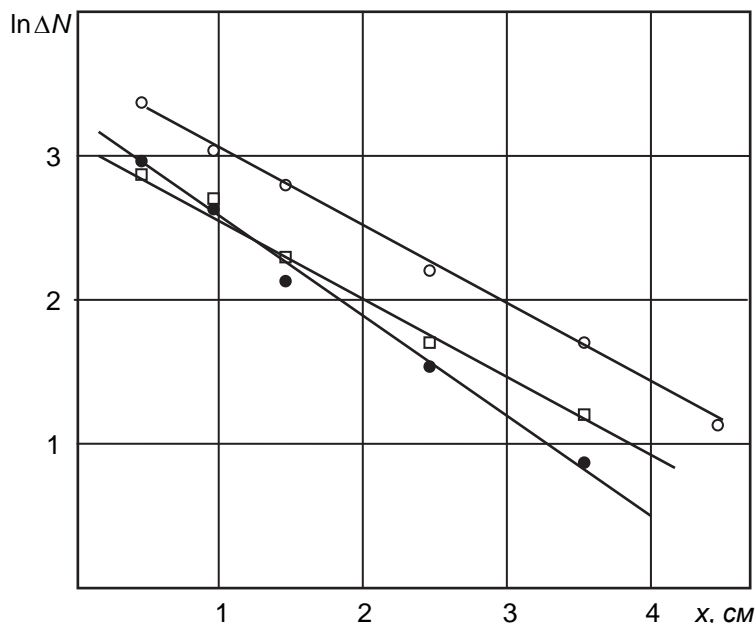


Рисунок 2 – Графики изменения  $\ln \Delta N$  вдоль сечений в древесине вблизи нагеля 14 мм

Чтобы исключить раскалывание деревянного элемента при нагружение нагелей, расстояние между нагелями следует принимать таким, чтобы в области наложения напряжений, обусловленных забивкой двух соседних нагелей, величина каждого из напряжений снижалась до 2% от максимальной величины, то есть  $8\tau$ . Таким образом для нагелей с характерным размером 14 мм, рекомендуется принять расстояние между нагелями 14,4 см, а для нагелей 16 мм –

15,6 см.

Для сравнения. При оценке глубины проникновения краевого эффекта для композитных материалов, применяют формулу

$$L = h \sqrt{\frac{E_a}{E_t}}, \quad (8)$$

где  $L$  – глубина зоны краевого эффекта;

$h$  – ширина зоны возмущения;

$E_a, E_t$  – модули упругости материала в направлении распространения возмущения и по нормали к нему соответственно.

Для нагеля с характерным размером 14 мм допустимое расстояние между осями, рассчитанное по (8), составляет 13,3 см, а для нагеля с характерным размером 16 мм – 15,3 см, что достаточно хорошо совпадает с полученными результатами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Жилкин, В.А. Голографический муаровый метод / В.А. Жилкин, А.М. Попов // Завод. лаб. -1979. -Т.45, №11. -С. 1039-1042.
- 2 Жилкин, В.А. Расшифровка интерференционных картин в методе голографического муара / В.А. Жилкин, В.Б. Зиновьев // Журн. техн. физики. -1986. -Т.56, №1. -С. 113-119.
- 3 Жилкин, В.А. Метод «двойного» и голографического муара / В.А. Жилкин, А.М. Попов // Вестн. Сиб. гос. ун-та путей сообщения. -1999. -№1. -С. 107-130.
- 4 Попов, А.М. Развитие оптико-геометрических методов механики деформируемого твердого тела / А.М. Попов, В.Б. Зиновьев // Sworld: сб. науч. тр. -2007. -Т.2, №4. -С. 36-44.
- 5 Попов, А.М. Использование нагелей крестообразного сечения для соединения элементов мостовых конструкций / А.М. Попов, В.Б. Зиновьев // Вестн. Томск. гос. архитектур.-строит. ун-та. -2012. -№2. -С. 235-238.
- 6 Зиновьев, В.Б. О расстановке нагелей крестообразного сечения в соединениях деревянных элементов / В.Б. Зиновьев, В.Н. Шведов, А.М. Попов // Изв. высш. учеб. заведений. Строительство. -2012. -№3. -С. 127-131.
- 7 Попов, А.М. Экспериментальное определение допустимых расстояний между нагелями в древесине / А.М. Попов, В.Б. Зиновьев, Л.А. Сподарева // Вестн. Сиб. гос. ун-та путей сообщения. -2012. -№28. -С. 160-167.
- 8 Демешкин, А.Г. О длине образцов из однонаправленного композита с учетом структуры и анизотропии / А.Г. Демешкин, В.М. Корнев // Механика композит. материалов. -1981. -№2. -С. 319-324.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** мост, прочность, голографическая интерферометрия, соединение деревянных элементов, нагель

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Попов Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Зиновьев Владимир Борисович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
Шведов Владимир Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГАСУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
630008, г.Новосибирск, ул.Ленинградская, 113, ФГБОУ ВПО «НГАСУ»

## МЕТОДИКА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГОЛОЛЕДОБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ И ТРОСАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**С.В. Ивашкин**

METHOD OF PREVENTION OF APPEARANCE OF ICE ON SEND-OFFS AND ROPES WITH THE USE OF LOADINGS DEVICES  
Novosibirsk state academy of water transport  
S.V. Ivashkin

The parameters of loadings devices are certain for send-offs and ropes of air-tracks

Keywords: loading device, size of current of melting of ice

Определены параметры нагрузочных устройств для проводов и тросов воздушных линий.

Способ предотвращения гололедообразования на проводах воздушных линий (ВЛ), заключающийся в том, что в результате включения искусственной нагрузки, в виде нагрузочных устройств (НУ), обеспечивается увеличение токовой нагрузки и профилактический прогрев проводов до температур не менее 10 °С [1-3].

В состав НУ входят три основных элемента: собственно нагрузочное устройство, коммутационное оборудование и схема управления устройством [3, 4].

Включение НУ производится в периоды времени, когда вероятно гололедообразование.

Для успешной работы устройства необходим точный синоптический прогноз с указанием направления гололедо-несущего потока температуры воздуха, скорости ветра и других

метеорологических данных.

Для эффективного использования НУ в электрических сетях его параметры и режимы работы должны быть согласованы с другими средствами борьбы с гололедом. Наибольший эффект от НУ может быть достигнут при условии рационального перераспределения токовых нагрузок по линиям электропередач в районе электрических сетей, подвергшихся воздействию гололеда [5].

Нагрузочные устройства не должны рассматриваться как локальные средства, влияющие на работу конкретной ВЛ, а как средство широкого действия, которое может оказывать влияние на процесс гололедообразования на группе взаимосвязанных ВЛ разных напряжений [1, 4, 5].

Количество и место подключения НУ должно определяться заблаговременно на основании анализа типичных гололедно-ветровых ситуаций и характерных режимов работы электрических сетей.

С целью ускорения включения НУ в работу должны использоваться коммутационные аппараты с дистанционным управлением. Возможность включения дополнительной активной нагрузки должна быть согласована с реальными возможностями энергосистемы по дополнительной загрузке генераторов электростанций. При ограничениях на выдачу мощности станциями необходимо перераспределение нагрузки в энергосистеме и отключение части неответственных потребителей в районах, не подвергшихся воздействию гололеда.

В качестве элементов для создания нагрузочных устройств могут использоваться бетэловые и проволочные резисторы, заземлители специальной конструкции, тросы ВЛ 110-500 кВ, а также участки ВЛ 6-10 кВ, включенные в конце на закоротку, представляющие собой в этом режиме активноиндуктивную нагрузку [5].

Требуемый уровень токовой нагрузки обогреваемых ВЛ достигается регулированием числа включенных НУ в электрической сети и их мощностью (в случае компоновки резисторных установок из резистивных элементов).

Режимы работы и параметры нагрузочных устройств для проводов линий электропередачи:

1) параметры НУ, используемые для профилактического нагрева проводов, должны выбираться на основании значений токов, при которых гололедных отложений не происходит с учетом типичной токовой нагрузки ВЛ. За расчетный должен быть принят минимальный уровень суточной нагрузки, относящийся к зимнему максимуму нагрузок.

2) в качестве метеорологических условий должны быть взяты наиболее тяжелые, отвечающие наиболее опасным гололедным отложениям. Расчетными условиями приняты два условия: первое условие  $T = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $V = 4\text{ м/с}$ , и второе условие  $T = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $V = 5\text{ м/с}$ .

3) в таблице 1 представлены токи профилактического прогрева проводов ВЛ 6-220 кВ, препятствующие образованию гололеда в вышеназванных погодных условиях.

4) при определении параметров НУ должны учитываться следующие требования:

- включение НУ не должно приводить к перегрузке электро-технического оборудования, проводов линий электропередачи;
- уровни напряжений в электрической сети должны оставаться в допустимых пределах;

– включение НУ не должно приводить к отключению потребителей в электрической сети устройствами АЧР.

5) в случае принятия требований к допустимому отклонению напряжения по условию послеаварийного режима (ГОСТ 13109-67) электрические сопротивления резисторных установок будут нижеследующими (таблица 2). При определении этих параметров рассматривался предельно возможный случай – до включения НУ линия работала на холостом ходу.

6) при использовании в качестве активной нагрузки, включенных в режиме трехфазного короткого замыкания, участков ВЛ 6-10 кВ параметры НУ должны выбираться исходя из дли-

*Таблица 1 – Токи профилактического прогрева проводов ВЛ 6-220 кВ, препятствующие образованию гололеда*

Марка провода	при $T = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V = 4\text{ м/с}$	при $T = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V = 5\text{ м/с}$
АС-16	55	70
АС-25	75	110
АС-35	95	135
АС-50	115	150
АС-70	140	200
АС-95	175	250
АС-120	195	275
АС-150	230	325
АС-185	255	375
АС-240	280	440

тельных максимально допустимых токов. Для проводов марки АС-50 этот ток равен 315 А, для АС-35 – 262 А, для АС-25 – 195 А. Необходимые длины ВЛ для создания этих токов при напряжении 10,5 кВ равны 21-23 км.

7) расчет параметров комплектующих элементов и выбор конструктивного исполнения резисторных установок в случае использования бетэловых резисторов должен производиться на основании методики, разработанной ВНПО «Энерготехпром».

8) типичным режимом работы НУ является непрерывный в течение нескольких суток по несколько раз за гололедный сезон.

Режимы работы и параметры НУ для тросов линий электропередачи:

1) для обеспечения требуемых значений токов в электрическую цепь последовательно с тросом (тросами) может потребоваться включение дополнительных нагрузочных устройств (резисторной установки, специального заземлителя). В большинстве практических случаев достаточно сопротивления тросов.

2) электрические сопротивления нагрузочных устройств для профилактического обогрева тросов должны выбираться исходя из следующих значений токов:

а) С-35 – 65 А; С-50 – 65 А; С-70 – 87 А;

б) С-35 – 35 А; С-50 – 45 А; С-70 – 60 А.

3) НУ должны создаваться для каждой конкретной ВЛ в районе с интенсивными гололедными отложениями. Ввиду несвязанности с режимом работы ВЛ профилактический обогрев тросов может производиться независимо и заблаговременно. Во многих практических случаях достаточным мероприятием по борьбе с гололедом будет профилактический обогрев тросов.

4) Высокое сопротивление тросов облегчает технические требования к НУ. В этом случае приемлемые технико-экономические характеристики НУ могут быть получены с использованием в качестве комплектующих элементов бетэловых резисторов.

5) Режим работы НУ для тросов аналогичен режиму работы устройства для проводов ВЛ.

6) Включение тросов под напряжение 6–35 кВ в гололедоопасный период по одной из стандартных схем (трос-земля, трос-трос, два троса-земля) обеспечивает дополнительную нагрузку по питающим линиям 1-4 МВАр. Меньшие значения относятся к тросам сечением 35 мм<sup>2</sup> и напряжению 6 кВ, большие – сечением 70 мм<sup>2</sup> и  $U = 35$  кВ.

**Вывод.** Для предотвращения образования гололеда на проводах и тросах ВЛ различных классов напряжения могут эффективно использоваться нагрузочные устройства. Включенные в определенных точках электрической сети, при возникновении опасности гололедных отложений, они позволяют увеличить токовую нагрузку по проводам до значений препятствующих образованию гололеда, тем самым обеспечивая «самозащиту» линий электропередачи.

*Таблица 2 – Электрические сопротивления нагрузочных устройств, Ом*

Марка провода	$U = 6$ кВ*	$U = 10$ кВ*	$U = 35$ кВ*	$U = 110$ кВ*
АС-16	49,4/63,0	–	–	–
АС-25	31,4/46,0	52,5/77,1	–	–
АС-35	25,6/36,4	42,8/60,8	149/213	–
АС-50	–	38,5/50,2	135/176	424/553
АС-70	–	–	100/144	318/454
АС-95	–	–	80,0/115	254/363
АС-120	–	–	72,7/103	231/326
АС-150	–	–	61,5/88	196/276
АС-185	–	–	–	170/249
АС-240	–	–	–	144/227

\* -числитель при  $T = -2$  °С;  $V = 4$  м/с; знаменатель при  $T = -5$  °С;  $V = 5$  м/с

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Борьба с гололедом на проводах воздушных линий электропередачи и контактной сети: темат. библиогр. список отеч. и зарубеж. лит., 1975-1980 / МПС. -М., 1981. -6 с.  
 2 Порцелан, А.А. Борьба с гололедом на электрифицированных железных дорогах / А.А. Порцелан, И.В. Павлов, А.А. Негаев. -М.: Транспорт, 1979. -152 с.  
 3 Дьяков, А.Ф. Опыт борьбы с гололедом на линиях электропередачи / А.А. Дьяков, И.И. Левченко // Электр. станции. - 1982. -№1. -С. 50-54.  
 4 Способ пофазной плавки гололеда в компенсированных сетях с использованием дугогасящих реакторов с подмагничиванием / В.Я. Синельников, В.С. Белоусов, И.Ф. Павлов, В.А. Леонтьев // Изв. высш. учеб. заведений. Энергетика. -1984. -№8. -С. 53-54.  
 5 Ветер и объекты электроэнергетики (надежность конструкций) / М.А. Березин, М.М. Березин, Ю.В. Демин, А.И. Мозиллов, Е.Г. Хромов. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2008.



**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *нагрузочное устройство, величина тока плавки гололеда*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОЙ НАГРУЗКИ В РЕЗИСТОРНЫХ НАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ**

ООО Управляющая компания «РусЭнергоМир»  
Тобольский филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**И.Л. Власов, Ю.В. Дёмин, Г.В. Иванов, С.В. Ивашкин, М.Н. Романов,  
Л.В. Садовская, Е.Г. Хромов**

### **USE OF RESISTANCE OF SOIL AS AN ACTIVE LOADING IN RESISTOR LOADINGS DEVICES**

The management company RusEnergMir  
Novosibirsk state academy of water transport, Tobolsk branch  
Novosibirsk state academy of water transport  
I.L. Vlasov, Yu.V. Demin, G.V. Ivanov, S.V. Ivashkin, M.N. Romanov, L.V. Sadovskaya, E.G. Khromov

As a possible variant of implementation of resistor part of loadings devices a resistor, being the system of earthings electrodes, earthed in soil on the corners of equilateral triangle on a certain depth and to which three phases of tension are connected 6-10 kv from the tires of substation, is considered.

*Keywords: resistance of soil, loading device, closeness of current, temperature of overheat*

В качестве возможного варианта выполнения резисторной части нагрузочных устройств рассмотрен резистор, представляющий собой систему заземляющих электродов, зарытых в грунт по углам равностороннего треугольника на определенную глубину и к которым подключаются три фазы напряжения 6-10 кВ от шин подстанции.

Идея использования сопротивления грунта в качестве резисторного тела не нова: еще в конце шестидесятых годов двадцатого столетия в нашей стране активно внедрялся метод тепловой преднастройкой подготовки мерзлого грунта током высокого напряжения. Применялось напряжение 6-10 кВ. Электроды устанавливались в землю на расстоянии 1,5-3,0 м. Номинальная мощность трехфазной высоковольтной установки составляла 100 кВА. Прогрев грунта осуществлялся примерно в течение суток [1-4].

Требуемое значение сопротивления НУ по мощности примерно на порядок выше [2, 4]. Оценим параметры заземляющего устройства, отвечающие сформулированным техническим требованиям.

Из основ электротехники известно, что между соотношениями, характеризующими электростатическое поле в диэлектрике, и соотношениями, характеризующими стационарное электрическое поле постоянных токов (а с некоторым приближением и переменных токов 50 Гц) в проводящей среде, существует формальная аналогия [5].

На этом основан так называемый метод электростатической аналогии, позволяющий при одинаковой конфигурации проводящих тел решать задачи поля токов, пользуясь готовыми решениями соответствующих задач электростатики, и наоборот [5].

В частности, этот метод позволяет довольно просто получать формулы для расчета сопротивлений растеканию тока заземлителей отдельных типов, а также сопротивлений прохождению тока между электродами и т.п. При этом, чтобы найти искомую формулу для определения сопротивления, необходимо в соответствующую формулу для емкости тела такой же конфигурации, как и заземлитель, подставить  $1/R$  вместо  $C$  и  $1/r$  вместо  $e$ , то есть вычислить сопротивления по формуле

$$R = \frac{e\rho}{C}, \quad (1)$$

где  $R$  – сопротивление заземлителя растеканию тока в однородной среде;

$\rho$  – удельное сопротивление среды;

$e$  – емкость рассматриваемой системы тел (заземлителей) в однородной среде.

Для нашего случая в наибольшей степени подходит известная формула, определяющая емкость трехфазной линии электропередачи. При симметричном расположении проводов,

когда они находятся в вершинах равностороннего треугольника и можно пренебречь влиянием земли, величина емкости фазы линии

$$C = \frac{2\pi \epsilon L}{L\sqrt[3]{2} \frac{D}{r} n}, \quad (2)$$

где  $L$  – расстояние между проводами (заземляющими электродами), м;  
 $r$  – радиус провода (заземлителя), м.

Соответственно сопротивление фазы заземляющего устройства

$$R = \frac{\rho L\sqrt[3]{2} \frac{L}{r} n}{2\pi \ell}, \quad (3)$$

где  $\ell$  – длина провода (глубина залегания заземляющего электрода), м.

При заданных параметрах грунта требуемое значение сопротивления НУ достигается варьированием трех параметров  $r, L, \ell$ .

Выбор параметров заземляющего устройства осуществляется из условия обеспечения требуемого значения  $R$ , при недопущении высыхания окружающего грунта и обеспечении минимальных габаритов самого устройства.

При использовании сопротивления грунта в качестве резисторного элемента необходимо учитывать повышение температуры грунта, чтобы избежать перегрузки, в результате которой из грунта может испаряться влага, причем в ближайшем окружении заземлителя будет повышаться удельное сопротивление грунта, или даже, вследствие полного высыхания грунта, возникнет изоляция заземляющего электрода [5].

Рассмотрим наиболее простой расчетный вариант заземлителя – заземлитель в виде шара.

Плотность тока  $\delta$  вокруг шарового электрода диаметром  $D$  изменяется с расстоянием  $x$  от центра шара в соответствии с зависимостью

$$\delta = \frac{I}{4\pi x^2}, \quad (4)$$

где  $I$  – ток, протекающий по электроду, А;

$x$  – расстояние от центра шарового электрода диаметром  $D$ , м.

При этом в каждой единице объема грунта выделяется джоулево тепло  $\rho \delta^2$ . Это тепло может частично аккумулироваться в грунте, имеющем, среднюю, отнесенную к объему теплоемкость  $1,75 \cdot 10^6$  Дж/(К·м<sup>3</sup>), и частично передаваться от мест с более высокой температурой к местам с более низкой при средней теплопроводности  $1,2$  Вт/(К·м).

Рассмотрим два предельных случая, которые сами по себе достаточно наглядны и дают хорошую информацию о нагревании заземлителя и требованиях к его конструкции и геометрическим размерам:

1) Пусть тепло, выделяемое шаровым заземлителем, аккумулируется в некотором объеме грунта и не отводится из него. На расстоянии  $x$  от центра шара сферическая поверхность составляет  $4\pi x^2$ .

Примем ее толщину равной  $dx$ , тогда сопротивление будет

$$dR = \frac{\rho dx}{4\pi x^2}. \quad (5)$$

В этом объеме ток  $I$  создает в течение времени  $dt$  количество тепла

$$dQ = I^2 \frac{\rho dx dt}{4\pi x^2}. \quad (6)$$

Это количество тепла накапливается в сферической оболочке грунта и повышает ее температуру на величину  $dQ$ . Объем сферической оболочки равен  $4\pi x^2 dx$  и при отнесенной к этому объему теплоемкости  $C$  будет  $dQ = C_v 4\pi x^2$ .

Следовательно,

$$\delta = \sqrt{\frac{C_v Q}{\rho t}}. \quad (7)$$

Ввиду того, что в этом уравнении отсутствует длина, оно справедливо для любого объемного элемента грунта, совершенно независимо от характера распределения тока, то есть может применяться для заземлителей любой формы.

Если принять из соображений безопасности максимальное повышение температуры 60 К, окажется, что заземлители в хорошо проводящем грунте с  $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  могут в течение одного часа работать с нагрузкой при плотности тока

$$\delta = \sqrt{\frac{1,75 \cdot 10^6 \cdot 60}{100 \cdot 3600}} = 17 \text{ А/м}^2.$$

2) Другой предельный случай должен показать, какое значение следует придавать имеющемуся в действительности отводу тепла.

Ввиду симметрии тепло отводится в радиальном направлении. Этот поток должен пройти через сечение грунта  $4\pi x^2$  толщиной  $dx$ , причем он вызывает перепад температуры  $dQ$  на участке  $dx$ . По законам теплопроводности поток тепла при этом равен

$$Q = 4\pi x^2 \lambda \frac{dQ}{dx}, \quad (8)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность.

С учетом того, что местная температура падает в радиальном удалении от заземлителя, допустимая плотность составляет

$$\delta = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{2\lambda Q_m}{\rho}}, \quad (9)$$

Определим наибольшую плотность тока при  $D = 1 \text{ м}$

$$\delta = \frac{2}{1} \sqrt{\frac{2 \cdot 1,2 \cdot 60}{100}} = 2,4 \text{ А/м}^2.$$

Таким образом, значение плотности тока во втором случае меньше, чем в предыдущем примере с нагрузкой в течении часа. Уже отсюда видно, что отвод тепла при кратковременной нагрузке не может иметь существенного значения.

Характер изменения температуры до  $Q_m$  в промежутке между двумя крайними случаями описать аналитически довольно трудно. Однако можно очень просто найти постоянную времени  $T$ , если определить ее как время, в течение которого первоначальное линейное повышение температуры достигает конечной температуры перегрева  $Q_m$ . Тогда постоянная времени нагрева шарового заземляющего электрода и окружающего его грунта

$$T = \frac{1}{2} \frac{C_v D^2}{\lambda}. \quad (10)$$

Эта величина зависит только от тепловых постоянных грунта и диаметра шара. Для других форм заземлителей постоянная времени имеет аналогичное выражение. Для шара диаметром  $D = 1 \text{ м}$

$$T = \frac{1}{2} \frac{1,75 \cdot 10^6}{1,2} \frac{1^2}{4} = 1,83 \cdot 10^6 \text{ с.}$$

Следовательно, постоянная времени для заземлителя в форме шара диаметром 1 м составит 51 ч.

**Вывод.** Выполненные расчеты показали перспективность использования сопротивления земли в качестве нагрузочного устройства. Позволили оценить параметры заземляющих устройств для создания НУ на напряжение 6-10 кВ мощностью 1-1,5 МВт, обеспечивающих протекание токов по линиям электропередачи 75-100 А (для ВЛ с проводами АС-25, АС-35, АС-50). Для грунтов с удельным сопротивлением 100-200 Ом требуются заземлители погруженные в землю на 1,0-1,5 м и диаметром 1,5-2,0 м. Расстояние между электродами 8-10 м. Для лучшего контакта заземлителя с грунтом эффективно применение коксовой засыпки. Время использования такого НУ несколько суток. Площадь занимаемая таким резисторным устройством  $\sim 100 \text{ м}^2$  ( $10 \times 10 \text{ м}$ ).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Борьба с гололедом на проводах воздушных линий электропередачи и контактной сети: темат. библиогр. список отеч. и зарубеж. лит., 1975-1980 / МПС. -М., 1981. -6 с.
- 2 Порцелан, А.А. Борьба с гололедом на электрифицированных железных дорогах / А.А. Порцелан, И.В. Павлов, А.А. Негаев. -М.: Транспорт, 1979. -152 с.
- 3 Дьяков, А.Ф. Опыт борьбы с гололедом на линиях электропередачи / А.А. Дьяков, И.И. Левченко // Электр. станции. - 1982. -№1. -С. 50-54.
- 4 Способ пофазной плавки гололеда в компенсированных сетях с использованием дугогасящих реакторов с подмагничиванием / В.Я. Синельников, В.С. Белоусов, И.Ф. Павлов, В.А. Леонтьев // Изв. высш. учеб. заведений. Энергетика. -1984. -№8. -С. 53-54.

5 Ветер и объекты электроэнергетики (надежность конструкций) / М.А. Березин, М.М. Березин, Ю.В. Демин, А.И. Мозиллов, Е.Г. Хромов. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2008.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *сопротивление грунта, нагрузочное устройство, плотность тока, температура перегрева*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Власов Илья Леонидович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент Тобольский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Романов Марк Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Садовская Людмила Вадимовна, ведущий специалист ООО УК «РусЭнергоМир»  
Хромов Евгений Георгиевич, канд. техн. наук, заместитель директора по науке ООО УК «РусЭнергоМир»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *626152, Тюменская область, г.Тобольск, ул.Ремезова, 72а, Тобольский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
630087, г.Новосибирск, ул. Новогодняя, 24/1, ООО УК «РусЭнергоМир»  
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ПОВРЕЖДЕНИЕ ОПОР КАК ВИД ОТКАЗОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**ЗАО «ФЕНИКС-88»**

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

**В.П. Горелов, Г.В. Ситников, В.Г. Кирюшкин, М.А. Кручинин, П.Г. Шушара**

**DAMAGE TO THE POLES AS A KIND OF FAILURE OF OVERHEAD TRANSMISSION LINES**

**PHOENIX-88**

**Novosibirsk state academy of water transport**

**V.P. Gorelov, G.V. Sitnikov, V.G. Kiryushkin, M.A. Kruchinin, P.G. Shushara**

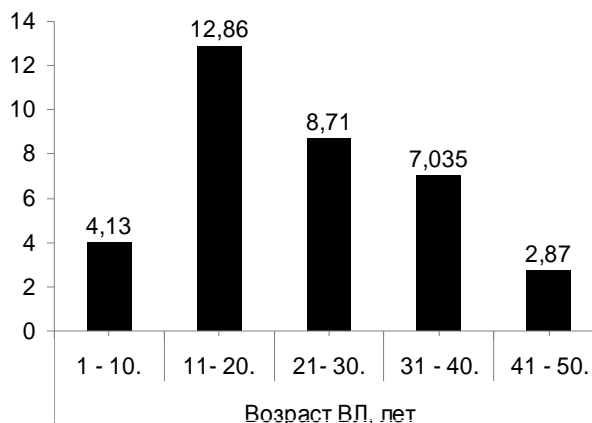
The article is devoted to the reasons of the damage and failure of overhead transmission lines. The author lays out the directions of increase of efficiency of use of these lines.

*Keywords: overhead transmission lines, damage, the technological disturbance, fixed assets, depreciation*

Рассмотрены виды и причины повреждений и отказов воздушных линий электропередачи. Изложены направления повышения эффективности использования этих линий.

Воздушные линии (ВЛ) классов напряжения 220 кВ и выше выполняют функции системообразующих и межсистемных линий электропередачи. Общая протяженность этих ВЛ в России превышает 40 тыс. км. ВЛ напряжением от 35 до 110 кВ формируют распределительные сети протяженностью более 800 тыс. км [1].

Наблюдается значительный износ основных фондов электрических частей (рисунок 1). Срок службы первых ВЛ 500 кВ – 45 лет, ВЛ 750 кВ – 30 лет [2, 8-10]. Кроме продолжительности эксплуатации ВЛ следует учитывать, что средства компенсации реактивной мощности линий электропередачи выбирались в расчёте на значительное потребление реактивной мощности подключенной нагрузкой. В начале 1990-х годов в связи со снижением электропотребления произошла значительная разгрузка линий электропередачи сверхвысокого напряжения (СВН). При этом предусмотренная проектами недокомпенсация привела к росту напряжения в ряде узлов основной сети, в частности в сети 500 кВ – до (540-545) кВ, в сети 750 кВ – до 800 кВ. Повышение напряжения вызывает усиленный износ главной изоляции и сокращение срока службы оборудования, ухудшение условий работы ограничителей перенапряжений, дополнительные потери энергии на корону и увеличение уровня помех в каналах связи. Для



*Рисунок 1 – Протяженность воздушных линий электропередачи от 220 до 1150 кВ с различными сроками службы, тыс. км*

нормализации уровней напряжения на ряде подстанций были введены и продолжают устанавливаться шунтирующие реакторы, в том числе управляемые.

ВЛ вследствие большой протяженности имеют огромное количество однотипных элементов, каждый из которых обладает своими показателями надёжности [1, 2, 4]. Уровень повреждаемости элементов ВЛ определяется как свойствами конструкций, так и условиями их эксплуатации. По данным [2] наблюдается примерно следующее число отказов (на 100 км/год): опоры стальные – 0,027; опоры железобетонные – 0,028; опоры деревянные – 0,370; изоляторы – 0,180; арматура – 0,018; провода – 0,250. Распределение количества технологических нарушений по основным элементам, вызывающим эти нарушения, приведено в таблице 1.

*Таблица 1 – Технологические нарушения в работе воздушных линий электропередачи ВЛ 330 и ВЛ 500 кВ*

Поврежденный элемент ВЛ	Количество, ежегодно		Процент технологических нарушений			
			от общего количества		связанных с повреждением элементов	
	ВЛ 330 кВ	ВЛ 500 кВ	ВЛ 330 кВ	ВЛ 500 кВ	ВЛ 330 кВ	ВЛ 500 кВ
Опоры	0-3	2-5	3,6	4,2	10,7	15,8
Провода	1-4	2-7	3,6	7,6	10,7	29,0
Грозозащитные тросы	2-3	4-6	4,0	5,6	11,8	21,6
Изоляторы	6-12	3-8	19,1	6,7	56,1	25,2
Арматуры	1-2	1-2	3,6	2,2	10,7	8,4
Итого (нарушения, вызванные повреждением элементов ВЛ)	–	–	33,8	26,3	100	100
Нарушения без повреждения элементов ВЛ	–	–	66,2	73,7	–	–
Среднее (количество технологических нарушений в год)	–	–	49,8	74,0	–	–

Значительная доля технологических нарушений обусловлена повреждениями проводов и грозозащитных щитов (56%), изоляторов (19%), и опор (15%) [1, 2].

В связи с тем, что целью статьи является анализ повреждаемости опор, рассмотрим основные причины их отказов [1, 4].

Высокий уровень повреждаемости деревянных опор объясняется значительной потерей прочности вследствие загнивания деталей опор в процессе эксплуатации и несвоевременной их заменой. Интенсивность загнивания древесины, прежде всего, зависит от качества ее пропитки антисептическими составами. Наиболее быстро процесс гниения развивается при влажности древесины от 30 до 60%. Такая влажность характерна для подземной части пазынков, торцевых и горизонтально расположенных деталей опоры, а так же в местах их соприкосновения, то есть там, где затруднены условия высыхания влаги.

Зачастую опоры ломаются из-за недопустимого отклонения стоек от вертикального положения и смещения от оси ВЛ, а также от ударов молнии. Имеют место возгорания опор при касании проводом опоры и при низовых пожарах на трассе ВЛ. При прямых ударах молнии нередки расщепления и даже полные разрушения опор.



*Рисунок 2 – Возгорание деревянных траверс и опор из-за токов утечки*

На деревянных траверсах от токов утечки при загрязнении и увлажнении поверхности изоляции возникают нагрев и, даже, возгорание (рисунок 2).

Основными причинами отказов железобетонных опор является развитие трещин и вы-

крашивание бетона (рисунок 3), неплотная заделка в грунт, прослабление внутренних ветровых связей, коррозия арматуры (особенно в подземной части опор) и траверс.

Железобетонные опоры с цилиндрическими и коническими центрифугированными стойками принципиально могут иметь достаточно высокую надежность: механическая прочность неповрежденного бетона даже после 20-30 лет эксплуатации практически остается на уровне заводской марки. Однако из-за нарушений правил транспортировки к месту установки на стойках образуются трещины. Этот вывод основан на одинаковом характере повреждений независимо от завода-изготовителя или места прохождения трассы ВЛ.



Рисунок 3 – Типичные дефекты центрифугированных стоек

Нередки и заводские дефекты опор, три из которых можно считать основными: малая толщина защитного слоя бетона, некачественная сварка арматуры и стыковые швы. При центрифугировании или вибрировании бетона стальная арматура иногда смещается от оси симметрии и толщина бетона в некоторых местах оказывается недостаточной для защиты металла от коррозии за счёт облегчённого проникновения влаги и кислорода из воздуха. Некачественная сварка арматуры, её отсутствие или недостаточный отжим приводят к обрыву стержней арматуры при растяжении и, как следствие, к резкому снижению механической прочности опоры. Стыковые швы появляются вследствие неплотного прилегания полуформ, в которых изготавливаются опоры. Бетон в месте стыковки получается пористым и затем в эксплуатации выкрашивается, что приводит к обнажению арматуры, её ускоренной коррозии и т.д.

Основными причинами отказов металлических опор является коррозия и старение. Ускоренная коррозия наблюдается в горизонтально расположенных элементах и в местах сопряжения элементов, где влага накапливается быстрее, а высыхает медленнее. Развитие коррозии приводит к снижению несущей способности, а иногда и к поломке опор (рисунок 4).



Рисунок 4 – Коррозионное разрушение металлической опоры

Практические достижения металловедения указывают и на существование процессов старения металлов. Причём оказалось, что чем прочней используется в конструкции металл, тем раньше в нем могут проявиться признаки деградации в виде усталостных трещин. Экспериментально установлено, что процесс коррозионного разрушения материалов конструкций в большей степени зависит от грунтово-климатических факторов трассы, а на процесс старения преимущественное влияние оказывают условия эксплуатации, конструктивное исполнение ВЛ, класс напряжения и режим её работы [1].

У железобетонных фундаментов чаще повреждается надземная часть. Появление в ней трещин приводит к попаданию в них воды, расширению трещин при замерзании воды и последующему выкрашиванию бетона. Те же явления происходят в открытых колодцах анкерных болтов. Таким образом, основной объективной причиной повреждения железобетонных фундаментов является многократное повторение цикла «замораживания-оттаивания» влаги в бетоне [4]. Особенно это характерно для Западной и Восточной Сибири, поскольку в этих регионах в осенне-весенний период в светлое время суток температура окружающей среды выше нуля, а ночью случаются заморозки. Число таких неблагоприятных дней от 65 до 80, а в отдельные годы даже превышает 100 дней.

Для фундаментов, выполненных в виде металлических подножников, или для подземных анкерных оттяжек опор наибольшую опасность несёт коррозия.

Важную роль в обеспечении надёжности ВЛ играет выполнение положений нормативных документов. Накопленный опыт эксплуатации привел к ряду изменений Правил устройства электроустановок (ПУЭ). Так, расчётные условия для ВЛ и их элементов по ветру и го-

лоледу по ПУЭ 7-го издания (2003 г.) должны определяться на основании карт климатического районирования, разработанных на основе повторяемости нагрузок 1 раз в 25 лет; в ПУЭ-86 повторяемость для ВЛ 35-330 кВ принималась равной 1 раз в 10 лет, для ВЛ 500 кВ и выше – 1 раз в 15 лет. Карты климатического районирования должны уточняться по региональным картам и материалам многолетних наблюдений [3].

Для расчетной ветровой нагрузки на провода введен коэффициент надёжности к нормативной нагрузке, учитывающий ответственность ВЛ: 1,0 для ВЛ 330-750 кВ; для двухцепных и многоцепных ВЛ всех классов напряжения, для особо ответственных ВЛ до 220 кВ, региональный коэффициент 1,0-1,3. Для перечисленных линий при расчёте линейной гололёдной нагрузки принят коэффициент надёжности к нормативной нагрузке, составляющий 1,3. На основании опыта эксплуатации установлены: региональный коэффициент от 1,0 до 1,5; коэффициент надёжности по гололёдной нагрузке 1,3 для I и II районов по гололёду и 1,6 для районов III и выше, соответственно, учитывая повышающие коэффициенты при расчётах опор.



Рисунок 5 – Классификационная схема технологических мини- и микродефектов в конструкциях из композитов

Другим направлением повышения эффективности использования опор является применение для их изготовления электроизоляционного бетона. В этих опорах проводящая стальная арматура заменена стеклопластиковой. После изготовления опоры подвергаются термической обработке и пропитке изоляционным компаундом. Электроизоляционный бетон как изоляция имеет низкую вероятность пробиваемости, высокие разрядные характеристики, позволяющие увеличить грозоупорность линии и снизить число её аварийных отключений. Основным препятствием к массовому внедрению этих опор является высокая стоимость. Один кубический метр электроизоляционного бетона в два раза дороже, чем аналогичных

железобетонных конструкций [2].

Технологические нарушения в конструкциях, например из полимерных композиционных материалов [5-7], условно можно разделить на производственные дефекты и эксплуатационные повреждения [4-5], приведенные на рисунках 5 и 6. При этом производственные нарушения большей частью включают в себя микродефекты и мини-дефекты.

Более крупные дефекты (макродефекты) занимают наиболее часто встречающиеся нарушения конструкций.

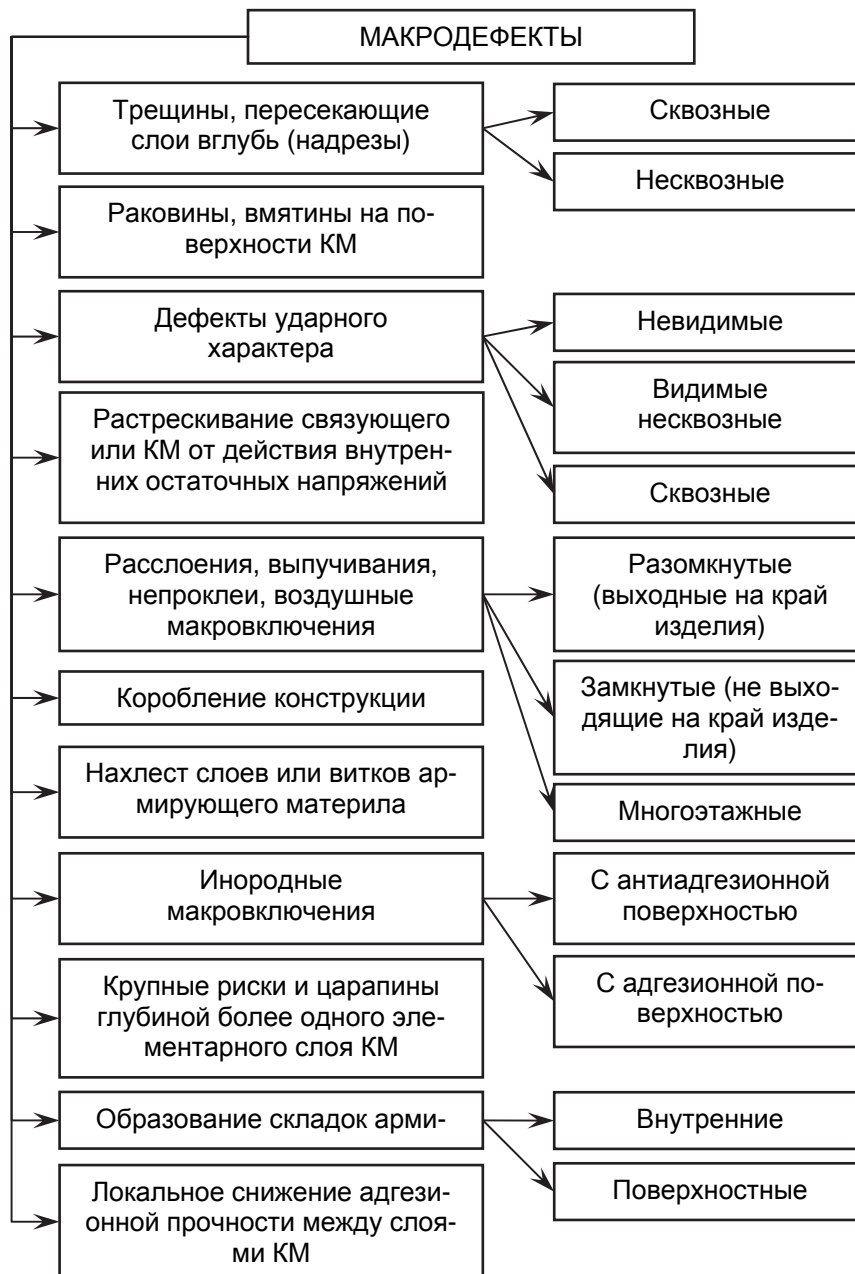


Рисунок 6 – Классификационная схема технологических макродефектов в конструкции из композитов

Превалирующее влияние на появление дефектов оказывают методы изготовления конструкций из композитов (таблица 2).

Таким образом, совершенствование опор ВЛ путём их изготовления из полимерных композитов является актуальной проблемой электроэнергетики, имеющей существенное влияние на развитие экономики регионов страны.



## ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Таблица 2 – Типичные дефекты, возникающие при формировании изделий из полимерных композитов [4]

Метод формирования	Характеристика изделий	Дефекты формирования
Контактное формирование (без прикатки, с прикаткой, с уплотнением)	Крупногабаритные изделия сложной формы оболочки, листы больших размеров	Пористость, расслоения, разнотолщинность, неравномерное распределение связующего, участки неполного отверждения, увеличение разброса физико-механических характеристик, складки, разориентация волокон, участки с низким содержанием связующего, корабление изделия, риски на поверхности
Формирование эластичной диафрагмой	Крупно- и среднегабаритные изделия сложной формы	Неравномерное распределение связующего, разориентация волокон, расслоения, складки, участки неполного отверждения связующего, локальная пористость
Авто- и гидроклавное формирование	Крупно- и среднегабаритные изделия простой и сложной формы	Расслоения, пористость, складки, разориентация армирующего материала
Вакуумное формирование	Среднегабаритные изделия простой и сложной формы	Пористость, складки армирующих слоев, неравномерное распределение связующего, разориентация слоев
Метод сухой и мокрой намотки (однонаправленная)	Крупно- и среднегабаритные изделия типа тел вращения (цилиндрические, сферические, конические, оваловидные, торoidalные оболочки), длинномерные конструкции в виде замкнутого профиля прямоугольной или другой формы	Расслоения, пористость, неравномерное распределение связующего, утолщения в зоне нахлестов витков, участки неармированного связующего в зазорах между соседними витками, инородные включения, обрывы волокон, искривление волокон
Прессование тканей, пропитанных связующими	Средне- и малогабаритные изделия простой и сложной формы	Трещины, локальная пористость, расслоения, неравномерное распределение связующего, риски на поверхности

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Арбузов, Р.С. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи / Р.С. Арбузов, А.Г. Овсянников. - Новосибирск: Наука, 2009. -136 с.
- 2 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: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. -559 с.
- 3 Правила устройства электроустановок. -М.: ДЕАН, 2001. -928 с.
- 4 Горелов, В.П. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах. Кн.1. Теоретические основы / В.П. Горелов, Ю.В. Дёмин, Р.Ю. Дёмина; под ред. В.П. Горелова. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. -209 с.
- 5 Воробей, В.В. Контроль качества изготовления и технология ремонта композитных конструкций / В.В. Воробей, В.Б. Маркин. -Новосибирск: Наука, 2006. -190 с.
- 6 Воробей, В.В. Основы технологии и проектирования корпусов ракетных двигателей / В.В. Воробей, В.Б. Маркин. -Новосибирск: Наука, 2003. -164 с.
- 7 А.с. 993342 СССР, М.Кл.3 Н 01С 17/00. Способ изготовления композиционных резисторов / В.П. Горелов [и др.] (СССР). -Опубл. 30.01.83, Бюл. №4. -2 с.
- 8 Иванов, М.Н. Разработка варисторов для нелинейных ограничителей перенапряжений / М.Н. Иванов, Г.А. Данилов, В.Г. Боровицкий, Г.Р. Манчук, М.В. Рябов, А.Г. Данилов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 353-357.
- 9 Данилов, А.Г. Системный подход к анализу мероприятий, повышающих надёжность электроэнергетических объектов / А.Г. Данилов, Г.А. Данилов, О.Н. Духновская, В.В. Солодская, М.А. Кручинин, Г.Р. Манчук // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 357-362.
- 10 Горелов, В.П. Инновационный опытно-конструкторский проект, направленный на повышение надежности и долговечности воздушных линий электропередачи /В.П. Горелов, Г.А. Данилов, П.Г. Шушара // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 380-382.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК №16.526.11.6015 от 22 мая 2012 г.), так же как и [8-10]

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** опоры воздушных линий электропередачи, повреждение, технологическое нарушение, основные фонды, износ

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Ситников Григорий Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Кирюшкин Владимир Григорьевич, заместитель директора ЗАО «ФЕНИКС-88»  
Кручинин Максим Анатольевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Шушара Павел Георгиевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630088, г.Новосибирск, а/я 279, ЗАО «ФЕНИКС-88»  
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## ВИХРЕВАЯ И ВОЛНОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ СУДНА И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Ш. Готман

VORTEX AND WAVE RESISTANCE OF WATER TO MOVEMENT OF THE VESSEL AND THEIR INTERACTION  
Novosibirsk state academy of water transport  
A.Sh. Gotman

The interaction of the vortex and wave field around the moving ship. Developed two methods of calculating the amount of the vortex and wave. The ways of obtaining empirical coefficients for these methods.

Keywords: vortex resistance, vortex zone, interaction, blow, viscosity, pulse pressure

Изучено взаимодействие вихревого и волнового полей вокруг движущегося судна. Разработано два метода расчёта суммы вихревого и волнового сопротивления. Определены пути получения эмпирических коэффициентов для этих методов.

На рисунке 1 хорошо видны две вихревые системы: идущее от носа ожерелье вихрей и вихревой попутный поток, а также типичная волновая система.



Рисунок 1 – Две вихревые системы: идущее от носа ожерелье вихрей и вихревой попутный поток, а также типичная волновая система

Существует два способа разделения полного сопротивления судна на составляющие. В. Фруд разделил действие движущегося судна на окружающую жидкость по направлению этого действия через нормальные давления и касательные напряжения и получил две составляющие: сопротивление трения и остаточное. Остаточное сопротивление делится в свою очередь на волновое и вихревое. На Анн-Арборском семинаре (1963 г.) был предложен способ деления сопротивления на волновое и вязкостное, то есть, по свойствам жидкости. Тогда вихревое сопротивление относится к вязкостному. Для поставленной нами задачи удобно деление В. Фруда. Но при любом способе деления сопротивления на составляющие необходимо знать источник вихреобразования, структуру вихревого потока вокруг корпуса судна и величину расходуемой на вихреобразование энергии.

*Расчёт волнового сопротивления движущегося судна.* В связи с тем, что из эксперимента получают остаточное сопротивление как сумму вихревого и волнового, кроме метода определения вихревой составляющей необходимо иметь надёжный метод расчёта волнового сопротивления. Задача аналитического определения волнового сопротивления имеет несколько решений в линейной постановке и десятки решений в разных нелинейных постанов-

ках. Первое линейное решение получил Мичелл в 1898 году. Точно такое же решение было получено позже другими путями Н.Е. Кочиным (1940 г.) и Т. Хавелоком (1932 г.). Теории волнового сопротивления высшего порядка, начиная с В.Г. Сизова (1962 г.), были получены позже К. Эггерсом, Дж. Вехаузенем, Г. Даганом и др. [1]. Исследование существующих методов расчёта волнового сопротивления судна дало возможность сделать заключение, что наиболее точное и, самое главное, единственное аналитическое решение, даёт интеграл Мичелла (а, как известно, самым точным численным решением является аналитическое). Этот интеграл даёт то сопротивление, которое связано с носовой и кормовой системами кельвиновских волн, создающихся движущимся судном. Когда при числах Фруда больше 0,4 носовая и кормовая системы волн сливаются в одну, интеграл Мичелла даёт хорошее согласие с экспериментом для водоизмещающих судов общепринятых размерений. В данной работе изучаются причины его отклонения от эксперимента в диапазоне практических чисел Фруда от 0,15 до 0,33. Особенно удобно выполнять расчёт волнового сопротивления, используя новую форму интеграла Мичелла [1], которая сведена к производным уравнения поверхности корпуса в оконечностях.

Таким образом, если определить расчётным путём для заданных обводов корпуса судна сопротивление трения по экстраполяторам трения и волновую составляющую по интегралу Мичелла, то открывается возможность экспериментального и теоретического изучения вихревой составляющей сопротивления, потому что она может быть определена из обычного эксперимента путём вычитания из полного сопротивления сопротивление трения и волнового.

**Влияние вязкости жидкости на волновое сопротивление.** Интеграл Мичелла по самой постановке задачи не учитывает влияние вязкости жидкости. Ещё Виглей заметил, что вязкость влияет только на взаимодействие систем корабельных волн, и происходит это по экспоненциальному закону [2]. Проверка этого влияния описана нами в работе [1]. Физически это влияние объясняется тем, что искривление свободной поверхности при волновом движении приводит к появлению под поверхностью градиента скорости, чего-то вроде пограничного слоя, который гасит энергию волн и не позволяет достичь высоты расчётных горбов и впадин. Близкими к данной проблеме являются детальные исследования, выполненные в Гамбургском опытовом бассейне. В работе [3] изучается влияние сдвигового потока под свободной поверхностью на зависимость ожерелья вихрей от параметров формы носа (осадки, угла входа и выдвинутого бульба).

Введение экспоненциальной поправки в интеграл Мичелла приводит форму расчётной кривой к форме экспериментальной кривой остаточного сопротивления. Однако эта расчётная кривая волнового сопротивления может проходить как выше (рисунок 2а), так и ниже экспериментальной кривой остаточного сопротивления (рисунок 2б).

Так как остаточное сопротивление представляет собой сумму волнового и вихревого, то случаи, когда расчётная кривая волнового сопротивления проходит выше экспериментальной кривой остаточного сопротивления, выглядят парадоксально и требуют специального исследования. Для анализа этого явления использованы результаты экспериментов с се-

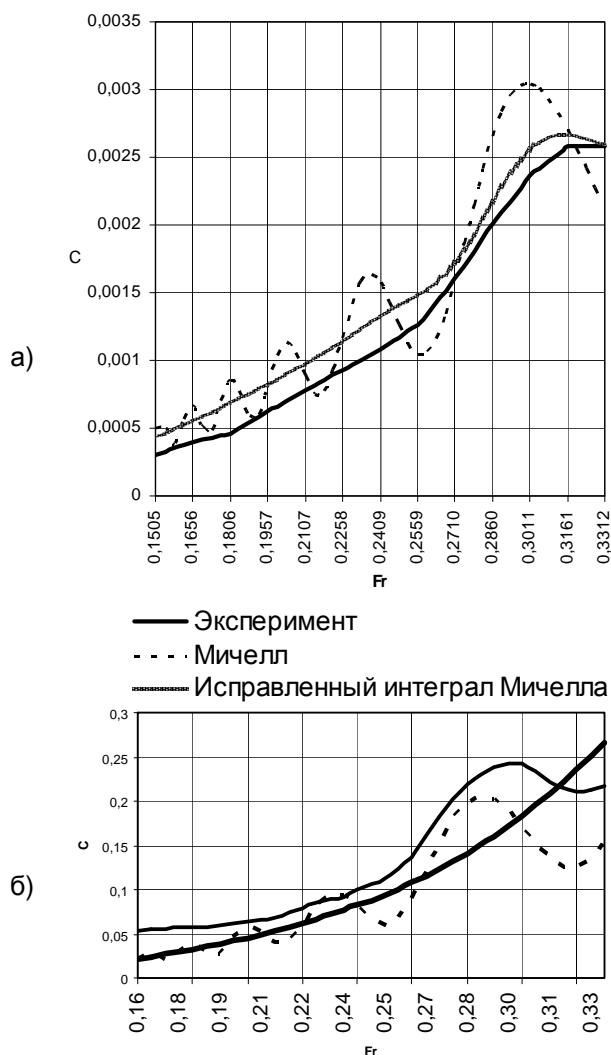


Рисунок 2 – Остаточное сопротивление: а)-модели Вейнблума 1100; б)-модели Виглея 1805А

риями аналитических моделей Виглея [4] и Вейнблума [5], выполненные в тридцатые годы.

Результаты сравнения относительного положения кривых Мичелла и остаточного сопротивления сведены в таблицу. В этой таблице в правом столбце показано взаимное положение кривой Мичелла  $R_w$  и кривой остаточного сопротивления  $R_{res}$  (выше или ниже).

Как видно из таблицы, на взаимное положение кривых Мичелла и остаточного сопротивления в первую очередь влияет угол входа действующей ватерлинии. Это подтверждается положением моделей в таблице по порядку убывания углов входа (третий столбец). Из таблицы видно, что кроме угла входа действующей ватерлинии на взаимное положение рас-

Таблица – Результаты сравнения относительного положения кривых Мичелла и остаточного сопротивления сведены

№ п/п	Модели Виглея и Вейнблума	Угол входа $\alpha$ , рад.	$\beta$	$\delta$	$\varphi$	$Fr = 0,2$
1	1846a	0,3083	0,666	0,4980	0,747	$R_w > R_{res}$
2	1113	0,2361	0,839	0,5787	0,689	$R_w > R_{res}$
3	1846 b	0,2356	0,666	0,4620	0,693	$R_w > R_{res}$
4	N43	0,2356	0,909	0,7990	0,879	$R_w > R_{res}$
5	1100	0,2356	0,839	0,5790	0,690	$R_w > R_{res}$
6	1110	0,2356	0,839	0,5506	0,656	$R_w < R_{res}$
7	1097	0,2356	0,75	0,5425	0,723	$R_w > R_{res}$
8	1136	0,2356	0,929	0,6190	0,666	$R_w > R_{res}$
9	Parabolic	0,1978	0,556	0,4440	0,667	$R_w > R_{res}$
10	1970b	0,1978	0,667	0,4670	0,700	$R_w > R_{res}$
11	829	0,1580	0,667	0,4270	0,640	$R_w < R_{res}$
12	1098	0,1375	0,750	0,5196	0,692	$R_w > R_{res}$
13	1114	0,1361	0,839	0,5500	0,656	$R_w < R_{res}$
14	1111	0,1075	0,839	0,5420	0,647	$R_w < R_{res}$
15	1970 c	0,1003	0,671	0,4670	0,700	$R_w > R_{res}$
16	1805 a	0,0748	0,666	0,3910	0,587	$R_w < R_{res}$
17	1805 b	0,0000	0,666	0,3550	0,533	$R_w < R_{res}$

счётной и экспериментальной кривой влияет также призматический коэффициент  $\varphi$ , что показано путём выделения тех значений  $\varphi$ , которые объясняют нарушение порядка в крайнем правом столбце. Например, у модели Вейнблума 1110 угол входа такой же, как у соседних, однако расчётная кривая Мичелла проходит ниже кривой остаточного сопротивления, потому что у этой модели коэффициент  $\varphi$  меньше соседних. То же происходит с моделью Виглея 829.

Конечно, эти выводы являются первым приближением, и необходим более детальный анализ, но в первую очередь требуется разобраться с причинами положения расчётной кривой Мичелла, полученной в идеальной жидкости, выше экспериментальной кривой остаточного сопротивления.

Так как остаточное сопротивление является суммой волнового и вихревого сопротивления, то естественно искать причину взаимного положения кривых во взаимодействии этих составляющих.

**Определение источника вихревого сопротивления.** До 1969 года к вихревой составляющей сопротивления относилось сопротивление, вызванное уменьшением давления в корме за счёт пограничного слоя. В 1969 году Е. Баба [6, 7] показал, что есть сопротивление, которое связано с разрушающимися волнами (внешнее ожерелье вихрей на рисунке 1), и это сопротивление может достигать 15% от полного, например, у судов типа танкера. Несколько позже Мията [8] обнаружил существование в носу судна ударных волн. Так как ударные волны и ожерелье вихрей возникают на форштевне, логично искать источник их образования в носу корпуса судна. Этим источником является удар (рисунок 3.) в носу при входе форштевня в невозмущённую воду [9]. Таким образом, источником вихревого сопротивления являются, во-первых, известные изменения эпюры давлений в корме за счёт пограничного слоя или его отрыва [10] и, во-вторых,

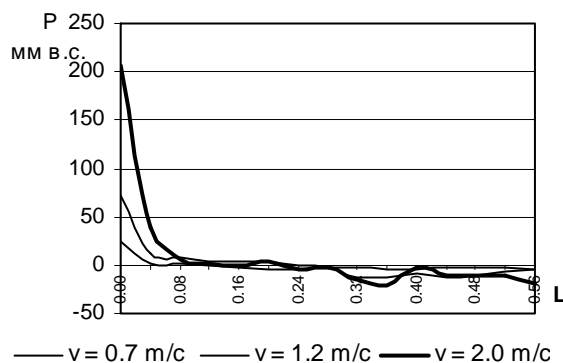


Рисунок 3 – Импульсное давление (удар) на форштевне

импульсное давление (удар) в носу судна. Первое составляет незначительную долю, поэтому в расчётах обычно учитывается небольшой поправкой. Удар в носу приводит к интенсивному вихреобразованию, которым в расчёте сопротивления воды движению, судна невозможно пренебречь.

Важно то обстоятельство, что вихреобразование от удара явно влияет на корабельные волны. Иначе объяснить парадокс с расположением расчётной кривой волнового сопротивления выше кривой остаточного просто невозможно.

*Механизм взаимодействия вихрей и корабельных волн.* Вопрос о взаимодействии вихрей и корабельных волн впервые затронут в работе М.А. Басина и Н.Ю. Завадовского [11], в которой речь шла о вихре-волновом резонансе (в учебниках просто говорится о влиянии вязкости на корабельные волны). Но из работы [11] неясен механизм взаимодействия вихрей и корабельных волн. В процессе экспериментов с аналитическими моделями в опытном бассейне НГАВТ аспиранты Красновы А.В. обратили внимание на то, что вихревая зона, образуемая за ударными волнами, отодвигает вершину системы носовых кельвиновских волн в корму (рисунок 4). Такая вихревая зона видна не только в экспериментах А.В. Красновых, но и на всех фотографиях (рисунок 5) в работах Х. Мията и Т. Инуи [8]. Из их работы известно, что за ударными волнами образуются зона турбулентности, но её влияние на корабельные волны не было замечено авторами.



Рисунок 4 – Кадр из видео-фильма аналитической модели (эксперимент аспирантов кафедры ТУК Красновых А.В.)

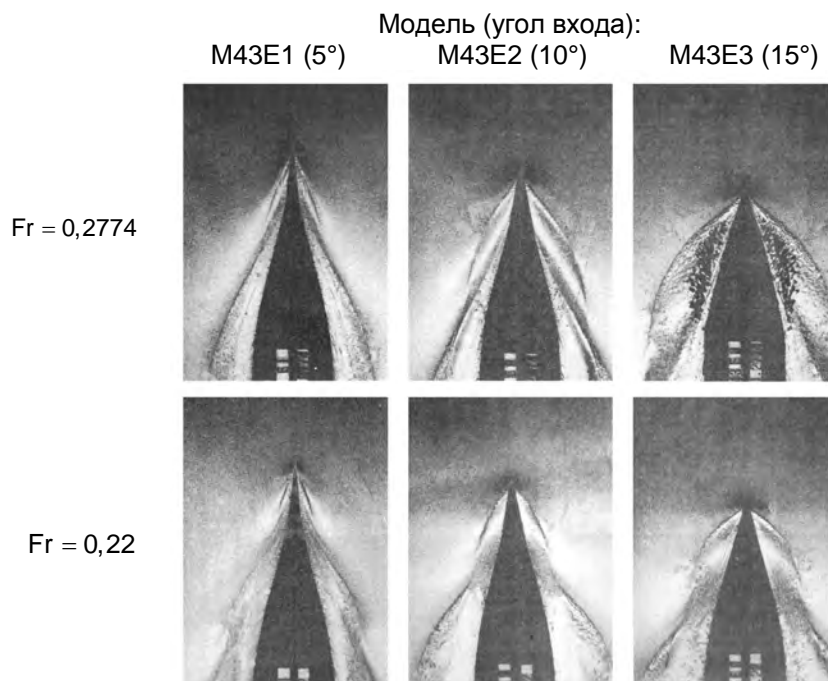


Рисунок 5 – Фотографии из работы [11]:  $L = 2,1$  ;  $B = 0,364$  ;  $T = 0,105$

То обстоятельство, что вихревая зона отодвигает волны, легко объяснить известным из гидромеханики фактом: вихри и потенциальный поток не могут существовать в одном пространстве. Следовательно, механизм взаимодействия носовых вихрей и корабельных волн

заключается в том, что *вихревая зона сдвигает носовую систему кельвиновских волн в корму. Этот впервые зафиксированный А.В. Красновыми факт* имеет решающее значение для определения величины вихревого сопротивления. Дело в том, что в обычном расчёте интеграла Мичелла волнообразующая точка носовой системы (все производные в расчёте интеграла Мичелла) корабельных волн берётся на форштевне, тогда как в эксперименте и в природе она сдвигается вихревой зоной с форштевня на борта корпуса, где угол, влияющий на величину расчётного волнового сопротивления меньше, чем у форштевня.

Таким образом, найдено *непротиворечивое объяснение парадокса* с положением расчётной кривой волнового сопротивления.

Сами две вихревые зоны, образующиеся у моделей в опытовом бассейне, некоторым образом моделируют поднятые носом судна разрушающиеся волны (рисунок 6). Описанное выше исследование проясняет структуру потока вокруг движущегося судна.

Поле потока вокруг движущегося судна состоит из следующих частей: две отходящие от носа и кормы кельвиновские системы волн; вихревой попутный поток за кормой, ширина которого примерно равна ширине корпуса судна; отходящее от носа ожерелье вихрей; в самом носу прямые или косые ударные волны; между ударными волнами и поверхностью корпуса судна находятся вихревые зоны. Это показано на рисунке 7.

*Расчётная оценка суммы вихревой и волновой составляющих сопротивления.* Как вихреобразование, так и волны связаны с распределением давления по корпусу судна. Давление вихреобразования вызвано вязкостью жидкости, а волновое – весомостью. Основная трудность расчётов состоит в необходимости отделить одну часть давлений от другой. Допустим, что давление от волн можно учесть, рассчитывая волновое сопротивление по интегралу Мичелла, но оценить давление от вязкости можно только из расчёта вихревого сопротивления. Кроме этого нужно как-то учесть их взаимодействие.

Возможны два пути оценки взаимодействия вихревой и волновой составляющих сопротивления. Первый путь: получить силу импульсного давления в зависимости от формы носовой оконечности, а потом решить вопрос о том, прибавлять или вычитать эту величину из волнового сопротивления. Здесь несколько помогает таблица. Из неё выяснилось, что волновое сопротивление близко к остаточному, когда угол входа действующей ватерлинии  $\alpha \approx 8^\circ$ , а призматический коэффициент  $\varphi \approx 0,65$ , что, к сожалению, далеко не всегда совпадает. Когда угол  $\alpha < 8^\circ$ , силу удара  $R_{imp}$  нужно прибавлять к силе волнового сопротивления  $R_w$ , а если  $\alpha > 8^\circ$ , то вычитать. Знак  $R_{imp}$  требуется ещё исследовать.

Второй путь учёта взаимодействия вихревой и волновой составляющих сопротивления возможен, если в интеграле Мичелла учесть, что волнообразующая точка сдвигается в корму, где касательная к поверхности корпуса составляет меньший угол с диаметральной плоскостью, чем на носовом перпендикуляре. Тогда в расчётной формуле следует брать первую производную меньше, чем на форштевне, и тогда кривая Мичелла пройдёт близко к кривой остаточного сопротивления.



Рисунок 6 – Разрушение носовых ударных волн

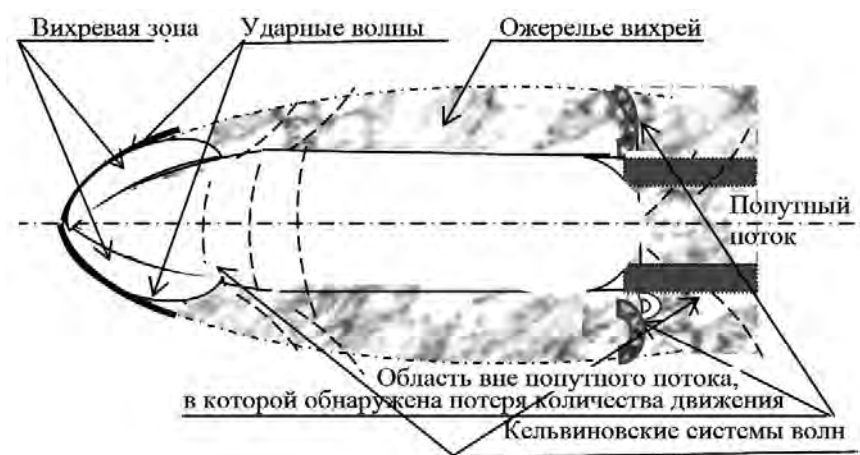


Рисунок 7 – Структура потока вокруг движущегося судна

Для получения расчётной формулы силы импульсного давления  $R_{imp}$  за основу взята формула удара Ньютона. Ньютон считал, что вся энергия удара в носу переходит в касательные напряжения ударного слоя, поэтому у него в формулу входит площадь ударного слоя. По такой формуле он определял полное сопротивление воды движению судна. Если исходить из того, что удар в носу создаёт дополнительные давления на корпусе, а не касательные напряжения, то вместо площади ударного слоя нами взята площадь миделевого сечения  $S_0$  (или самого полного шпангоута). Кроме того, вместо умножения на косинус  $\theta$  (угла касательной с ДП) нужно брать синус этого угла.

В этом случае расчётная формула силы удара (или просто импульсного давления) определяется по формуле

$$R_{imp} = \rho v^2 \sin^2 \alpha \cdot S_0 \sin \theta,$$

где  $\alpha$  – угол входа действующей ватерлинии

Но самым сложным является вопрос о том, где брать угол  $\theta$ , если оконечность не клиновидная. Практически точка, в которой нужно брать  $\theta$ , должна быть точкой приложения равнодействующей давлений на корпусе судна от удара в носу (импульсного давления  $R_{imp}$ ). Для её определения требуются дополнительные исследования.

Если использовать второй путь, то опять же нужны дополнительные эксперименты для определения зависимости длины вихревой зоны и смещения волнообразующей точки от формы носовой оконечности. На рисунок 8 показаны расчётная кривая суммы вихревого и волнового сопротивления (треугольниками) и экспериментальной кривой остаточного сопротивления модели Вейнблума 1100. Угол  $\theta = \alpha - \alpha_0$ , где  $\alpha_0$  – угол, при котором суммарная кривая вихревого и волнового сопротивления совпадает с экспериментальной кривой остаточного, то есть угол, при котором импульсным давлением можно пренебречь. Легко видеть, что расчётная кривая с достаточной для практики точностью совпадает с экспериментальной кривой. Такие расчёты выполнены для 16 моделей Виглея и Вейнблума и показали хорошие результаты. Здесь они не приводятся из-за ограниченного объёма статьи.

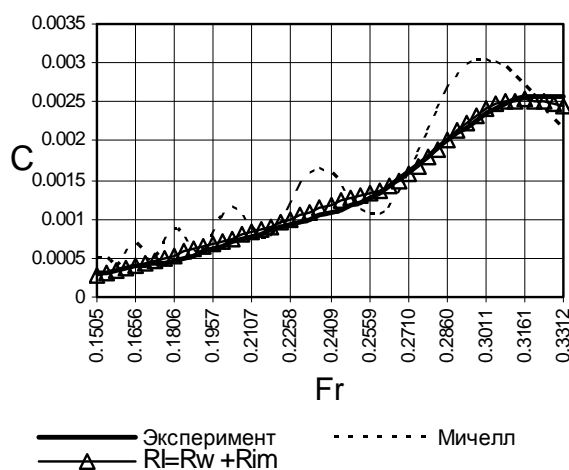


Рисунок 8 – Сравнение суммы вихревого и волнового сопротивления с кривой остаточного сопротивления для модели Вейнблума 1100

**Заключение.** Изучено вихревое сопротивление водоизмещающих судов в диапазоне  $0,16 < Fr < 0,33$ . Получена формула силы удара в носу судна.

Главным результатом исследования является объяснение того факта, что образующаяся за ударной носовой волной вихревая зона сдвигает волнообразующую точку носовой системы кельвиновских волн в корму, уменьшая таким путём волновое сопротивление. Это раскрывает механизм взаимодействия вихревого и волнового полей движущегося судна. Заодно дано непротиворечивое объяснение парадоксальному факту положения расчётной кривой волнового сопротивления выше экспериментально полученного остаточного сопротивления, являющегося суммой вихревого и волнового.

Разработаны и проверены два метода расчёта суммы вихревого и волнового сопротивления, которые показали идентичные результаты. Для их доработки необходимы дополнительные исследования: нужно получить зависимость длины вихревой зоны от скорости и формы носовой оконечности, а также величину смещения вершины носовой системы корабельных волн; второе – необходимо для изыскания способа определения точки приложения равнодействующей вязкостных давлений в носовой оконечности. Для всего этого необходимо, в первую очередь, специальный анализ экспериментальных данных, полученных в разных опытовых бассейнах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Gotman, A.Sh. Study of Michell's integral and influence of viscosity and ship hull form on wave resistance / A.Sh. Gotman // Oceanic Eng. Intern. -2002. -Vol.6, №2. -P. 74-115.

- 2 Wigley, W.C.S. Effects of viscosity on the wave-making of ship / W.C.S. Wigley // Trans. of the Inst. of Engin. Ship Builders in Scotland. -1937. -Vol.81. -P. 187-212.
- 3 Eggers, K.W.H. Effect of bow shape on free surface shear flow / K.W.H. Eggers & K.Takekuma // 15th ONR Symposium on Naval Hydrodynamics, Hamburg / Inst. für Schiffbau der Univ. -1984. -№2342.
- 4 Wigley, W.C.S. Ship wave resistance. A comparison of mathematical theory with experimental results / W.C.S. Wigley // Trans. INA. -1930. -Vol.72. -P. 216-228.
- 5 Weinblum, G.P. Schiffform und Wellenwiderstanden / G.P. Weinblum // Jarbuch der Schiffbautech, Jarbuch, Gessellschaft. -1932. -№33. -P. 419-451.
- 6 Baba, E. Study on separation of ship resistance components / E. Baba // J. of Soc. Nav. Arch. Japan. -1969. -Vol.125. -P. 9-22.
- 7 Baba, E. A new component of viscous resistance of ships / E. Baba // J. Soc. Nav. Arch., Japan, 1969. -Vol.125. -P. 23-34.
- 8 Miyata, H. Nonlinear ship waves / H. Miyata & T. Inui // Advances in Applied Mechanics. -1984. -№24. -P. 215-288.
- 9 Готман, А.Ш. Изучение поведения воды в носовой оконечности движущегося судна / А.Ш. Готман, А.В. Краснов, А.В. Краснов // Мор. интеллектуал. технологии. -2011. -№2(12). -С. 27-32.
- 10 Костюков, А.А. Сопrotивление воды движению судов / А.А. Костюков. -Л.: Судостроение, 1966. -148 с.
- 11 Басин, М.А. Модель двойного спирального вихря как предельная форма свободной поверхности нестационарного течения идеальной несжимаемой жидкости / М.А. Басин, Н.Ю. Завадовский // Труды семинара по обратным краевым задачам / КГУ. -Казань, 1985. -Вып.22. -С. 48-53.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *вихревое сопротивление, вихревая зона, взаимодействие, удар, вязкость, импульсное давление*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Готман Ада Шоломовна, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

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

## **ПРОБЛЕМЫ БЕЗАВАРИЙНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ В АРКТИКЕ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ**

**ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»**

**Л.Ф. Борисова, Г.Г. Холодов**

**THE PROBLEMS OF THE TROUBLEPROOF VESSELS POSITIONING DURING THE MARITIME OPERATIONS AND CARGO TRANSPORT IN THE ARCTIC ZONE AND THE SOLUTION TECHNIQUE**

Murmansk state technical university

L.F. Borisova, G.G. Kholodov

The technique and practical recommendations for determining the ship's position on the revised Ship Navigation System and orientation systems calibration are done.

*Keywords: dynamic positioning, operator, method, safety*

Предложена методика и практические рекомендации по определению уточненных координат судна по спутниковой навигационной системе и калибровке систем ориентации.

Специализированные суда, обладающие высокой мобильностью, незаменимы при выполнении работ по разведке месторождений нефти и газа на морском шельфе, когда требуется частая смена района работ. При глубинах свыше 100 м на судах, как правило, используются системы динамического позиционирования (СДП), обеспечивающие достаточно быструю и простую постановку на заданную точку, возможность ухода с точки работ и возврат в нее при ухудшении гидрометеорологических условий, высокую точность удержания судна на месте, швартовку к буровым платформам, причалам и судам FPSO [1].

В зависимости от сложности и потенциальной опасности проводимых работ суда можно разделить на три группы, а предполагаемые работы классифицировать. При этом в первую группу входят суда, выполняющие сложные работы круглосуточно и непрерывно в течение длительного времени, аварии на них могут вызвать крупные материальные потери, привести к существенным экологическим последствиям или создать угрозу здоровью и жизни людей. Это суда для добычи, хранения и отгрузки нефти - водолазные, буровые, трубоукладчики и платформы, челночные танкеры, суда FPSO. Суда этой группы, как правило, оборудуются СДП с многократным резервированием, большим количеством систем ориентации и датчиков для эксплуатации. Вторую группу составляют суда, выполняющие работы в режимах ДП периодически с циклом до нескольких суток, аварии которых не связаны с катастрофическими последствиями. Это научно-исследовательские, инженерно-геологические, крановые суда. Третья группа включает все остальные суда, СДП на которых используется кратковременно, например, ледоколы, транспортно-буксирные, пожарные, аварийно-спасательные, пассажирские суда [3].



Избыточность судна ДП определяется по результатам испытаний, которые проводятся перед каждой ответственной операцией, началом проекта или в плановом порядке. Точность и надежность позиционирования зависит от качества калибровки систем ориентации, проводимой во время испытания ДП. В настоящей работе предлагается методика калибровки систем ориентации, повышающая точность и надежность позиционирования, что в конечном итоге позволит снизить уровень аварийности при проведении морских технологических операций и транспортировки грузов.

Точность оценки координат объектов зависит от продолжительности навигационного сеанса. График зависимости предельной ошибки от длительности интервала наблюдений приводит Российский сервис СДКМ на своем сайте [2]. Для выработки практических рекомендаций эти данные были экспериментально проверены в четыре этапа:

- 1) сбор данных измерений в течение нескольких навигационных сеансов разной длительности;
- 2) обработка данных;
- 3) сравнение полученных координат с эталонными;
- 4) построение графиков зависимости предельной ошибки от длительности интервала наблюдений при различных отклонениях координат от эталонных и при различной длительности сеанса.

Сбор данных проводился 22 февраля 2013 г. с помощью приемника Javad Prego с использованием антенны приемника, размещенной на здании ОАО «Севморнефтегеофизика» (СМНГ), г. Мурманск, а обработка измеренных данных выполнялась с использованием программных средств JAVAD PCVIEW\_NEW (ПО приемника); RGP-2D Terminal (считывает сырые данные с COM порта), JAVAD Pinnacle (программа для обработки данных). Результаты обработки данных измерений приведены на рисунке 1.

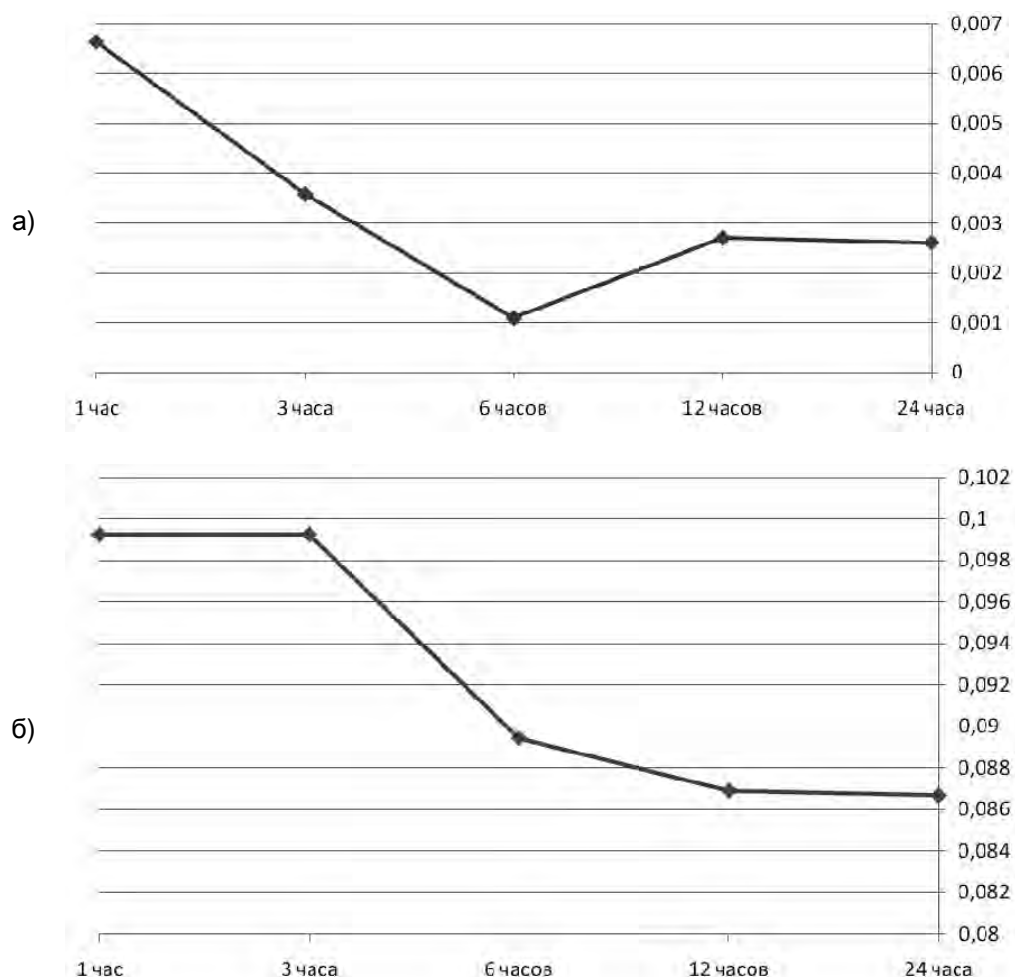


Рисунок 1 – Графики зависимостей предельной ошибки от длительности интервала наблюдений: а)-для долгот; б)-для широт

Испытания показали, что зависимости, полученные экспериментально, несколько отличаются от предложенных Российским сервисом СДКМ. На интервале более 12 ч изменение длительности наблюдения практически не влияет на результат измерений, поэтому проводить сеанс длительностью более 12 ч считаем нецелесообразным.

Дальнейшее уточнение результатов измерений можно получить путем дополнительной калибровки систем ориентации СДП.

Методика калибровки впервые была применена для навигационных систем научно-исследовательского судна «Профессор Рябинкин» в 2012 г. Это судно не использует СДП, однако, разработанная методика может быть с успехом использована для калибровки системы ориентации судов с СДП. Ниже приводится суть методики проведения калибровки.

Работы по калибровке гирокомпаса и верификации навигационных систем НИС «Профессор Рябинкин» выполнялись с 09 июля по 10 июля 2012 г. в п. Дровяное у причала ОАО СМНГ, г. Мурманск [4].

Для калибровки навигационных систем на причал ОАО СМНГ были вынесены два пункта геодезической опоры: Т1 – здание Треста СМНГ и Т2 – п. 5202 Абрам мыс в системе координат WGS-84 (таблица 1).

*Таблица 1 – Исходные пункты в системе WGS84*

Точка	Имя	Широта	Долгота	Высота, м
Т1	Нач ПР_QOLC	68°55'40,68651"N	33°00'59,11102"	7,5719
		7646330,42324	500658,84258	
Т2	Кон ПР_GL4W	68°55'44,52529"N	33°00'56,69336"E	7,5283
		7646449,31567	500631,86527	

Работы по передаче координат на пункты выполнялись методом транслокации с использованием системы GPS, в которой применялись двухчастотные геодезические GPS-приемники PREGO фирмы JAVAD (США) и программное обеспечение PCVIEW\_NEW и PINNACLE. Непосредственные работы по определению координат точек судна выполнялись геодезическим прибором СТ-3000 TOPCON (США).

Калибровочные работы выполнены для гирокомпаса, спутниковой навигационной системы (СНС) и эхолота.

Калибровка Гирокомпасов MERIDIAN, NAVIGAT X MK1 и GPS Компаса Aquarius выполнялась относительно Базовой линии, параллельной диаметральной плоскости судна, в конечных точках которой установлены антенны GPS приемников PREGO. Данные с GPS приемников PREGO, гирокомпасов и GPS компаса собирались синхронно в течение 45 минут (таблица 2).

*Таблица 2 – Определение направления базовой линии*

Дирекционный угол	Grid Azimuth (Az)	348°05'15,14570"
Угол сходимости (курсов)	Convergence angle (Cnv)	0°00'53,81081"
Прямой азимут нормального сектора	Normal Section Forward Azimuth (NSFA)	348°06'08,95652"
Обратный азимут нормального сектора	Normal Section Backward Azimuth (NSBA)	168°06'08,75278"
Прямой геодезический азимут	Forward Geodetic Azimuth (GsFA)	348°06'08,95652"
Обратный геодезический азимут	Backward Geodetic Azimuth (GsBA)	168°06'08,75278"
(t-T) поправка перехода от дуги к хорде	(t-T) Arc-to-Chord Correction (Cor)	-0,00002"
Коррекция отклонения	Inclination Correction (Skew Cor)	-0,00015"
Дистанция уклона	Slope Distance (SD)	11,8092

После обработки собранных данных получены истинное направление: истинный курс (ИК) базовой линии 348°06'08,95652"=348,102° и ее длина (таблица 3).

*Таблица 3 – Определение средних значений и стандартных девиаций курсов с гирокомпасов (количество значений – 3525)*

Наименование	NAVIGATE X MK1	MERIDIAN	Aquarius 22
Суммарное	1223041,82	1211551,17	1226895,89
Минимальное	346,42	343,3	347,87
Максимальное	347,95	343,9	348,26
Среднее	346,962	343,702	348,056
Среднеквадратическое отклонение	0,435666	0,130468	0,0590801

По данным средних значений: компасный курс (КК) и стандартных девиаций курсов из таблицы 3 определены поправки в курсы компасов (таблица 4).

Для калибровки подов RGPS на

*Таблица 4 – Определение поправок в курсы компасов*

Компас	КК	ИК	ΔК
NAVIGAT X MK1	346,962	348,102	+1,140°
MERIDIAN	343,702	348,102	+4,400°
Aquarius 22	348,056	348,102	+0,046°

причале была вынесена с помощью геодинметра точка (ТЗ), на которую поочередно устанавливались поды. Сбор данных производился сессиями длительностью 20 минут с системы RGPS-навигационного комплекса направлений и расстояний от Рефференсной точки до подов. Полученные данные усреднялись и оценивались программой SURFER. По данным наблюденных направлений вычислялись координаты подов и по разностям геодезических и наблюденных координат подов вычислялись невязки (таблица 5).

*Таблица 5 – Калибровка подов в точках 2181 и 2440 (количество значений – 994)*

Параметры	Дистанция	Азимут	X RGPS	Y RGPS	X pod	Y pod
<i>Под в точке 2181</i>						
Минимальное	17,70	132,6590	7646351,80	500643,00		
Максимальное	24,30	149,0770	7646356,10	500644,50		
Среднее	19,90	141,4023	7646355,61	500644,05	7646340,06	500656,49
Среднеквадратическое отклонение	1,102	4,151809	0,576474058	0,2334627		
Геодезические					7646339,27	500656,34
Δ					+0,79	+0,15
<i>Под в точке 2440</i>						
Минимальное	19,70	139,2190	7646351,80	500643,00		
Максимальное	25,90	150,0350	7646356,10	500644,50		
Среднее	22,01	143,9993	7646355,61	500644,05	7646337,80	500656,99
Среднеквадратическое отклонение	1,451	2,265404	0,576474058	0,2334627		
Геодезические					7646339,27	500656,34
Δ					-1,47	+0,65

Калибровка эхолота производилась с помощью ручного лота (рулетки со свинцовым грузом). Истинная глубина определялась, как разница глубин, измеренных от борта судна до воды и от борта до грунта. За окончательное значение глубины бралось среднее значение промеров в районе расположения вибратора эхолота с левого и правого борта. Измерения глубины лотом и эхолотом производились синхронно со скоростью звука в воде 1500 м/с. В процессе обработки глубина приведена к действительной скорости звука в воде (таблица 6 и 7).

Профиль скорости звука в воде приведен в таблице 8. Поправка на скорость звука вычислялась по формуле

$$\Delta H = H \frac{V_{\text{эор}} - 1500}{1500},$$

где  $H$  – глубина, м;

$V_{\text{э}}$  – скорость звука на горизонте, м/с;

$V_{\text{эор}}$  – средняя скорость звука до горизонта, м/с.

Полученные результаты удовлетворяют требованиям руководящих документов РД 31.74.04-2002 и ПГС-4, следовательно, предложенная методика калибровки СНС может быть использована на судах с СДП. Калибровку целесообразно проводить во время испытания ДП. Это позволит повысить точность и надежность позиционирования и снизить уровень аварийности на специализированных судах при ведении буровых работ, при различных типах швартовок в море и

*Таблица 6 – Калибровка эхолота SIMRAD EA400 (измерения глубины лотом), м*

Наименование	Правый борт	Левый борт
От борта до воды	6,10	6,10
От борта до грунта	14,40	14,80
Глубина	8,30	8,70

*Таблица 7 – Калибровка эхолота SIMRAD EA400 (измерения глубины эхолотом), м*

Наименование	Численное значение
Измеренная глубина	6,04
Заглубление вибратора	2,60
Поправка за скорость	-0,17
Приведенная глубина	8,40

*Таблица 8 – Профиль скорости звука в воде*

$H$ , м	$V_{\text{э}}$ , м/с	$V_{\text{эор}}$ , м/с	$\Delta H$ , м
1	1454,60	1454,60	-0,03
2	1455,60	1455,10	-0,06
3	1456,05	1455,40	-0,09
4	1456,50	1455,70	-0,14
5	1457,70	1456,09	-0,14
6	1464,50	1457,49	-0,17
7	1467,60	1458,93	-0,19
8	1467,80	1460,04	-0,21
9	1467,90	1460,97	-0,23
10	1468,00	1461,67	-0,25

транспортировке углеродосодержащего сырья за счет уменьшения информационной загрузки оператора СДП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок (ПБУ) и морских стационарных платформ (МСП) / Рос. мор. рег. судоходства. -СПб.: Рос. мор. рег. судоходства, 2001. -423 с.
- 2 Организация службы динамического позиционирования на судах РАО «Газпром», используемых при освоении морских нефтегазовых месторождений: РД 51-10-98 / ИРЦ Газпром. -М.: [б.и.], 1998. -25 с.
- 3 Отчет калибровки навигационных систем НИС «Профессор Рябинкин» / ОАО «Севморнефтегеофизика». -Мурманск, 2012. -14 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** динамическое позиционирование, оператор, метод, безопасность  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Борисова Людмила Федоровна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
Холодов Геннадий Григорьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 183010, г.Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»

## **ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ И ВЕКТОР ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ РАДИОВОЛНЫ**

ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

**Н.В. Калитёнков, В.И. Милкин**

**REFRACTIVE INDEX OF THE IONOSPHERE AND POLARIZATION VECTOR FOR THE RADIO WAVES**  
Murmansk state technical university  
N.V. Kalitenkov, V.I. Milkin

Expressions for the refractive index and the polarization vector for radio wave under conditions of vertical radio sounding and the analytic representation of three and two-dimensional distribution of electron density on the basis of model approximations Chapman layer, collisional properties and magnetization has been obtained in the paper.

*Keywords: radio communication, the ionosphere, the electron density, Chapman layer, refraction, polarization, vertical radio sounding*

Получены выражения для показателя преломления ионосферы и вектора поляризации радиоволны при аналитическом представлении трехмерного и двумерного распределения электронной концентрации на основе модельных приближений слоя Чепмена, с учетом столкновительных свойств и замагниченности.

Вертикальное, наклонное и возвратно-наклонное зондирование являются эффективными способами получения информации о параметрах высокоширотной ионосферы, необходимых для обеспечения устойчивой КВ-радиосвязью. В высоких широтах ионосфера обладает значительной нестабильностью и неоднородностью. Оба этих возмущающих фактора присутствуют здесь практически всегда, меняется лишь степень возмущенности и, следовательно, – степень влияния на характеристики информационных, локационных и навигационных радиосигналов.

Много внимания уделяется исследованию влияния горизонтальных градиентов электронной плотности в ионосфере на амплитудные, угловые и фазовые характеристики ионосферных и трансionoсферных радиосигналов [1]. Наличие горизонтальных градиентов приводит к асимметрии траектории распространения радиоволн в горизонтальной и вертикальной плоскостях, фокусированию и дефокусированию лучей, потере эффективности антенных систем, «эффектам утраивания» радиосигналов.

Фактическое распределение электронной концентрации с высотой является очень сложным, и в общем случае его нельзя представить в виде простых математических функций. Даже для такого сравнительно простого слоя, как слой Чепмена, почти невозможно найти аналитические выражения для интегралов распространения радиоволн. Для многих целей, особенно для теоретических исследований, более предпочтительно использование модели профилей электронной концентрации, при которых решения уравнений распространения получаются в интегрируемой форме. Модельные слои используются при расчетах лучевых путей, фазовых и групповых путей, поглощения, поляризации и т.д. Некоторые модельные слои, упоминаемые в последующих разделах, представляют собой аппроксимации различных частей слоя Чепмена: линейный слой, экспоненциальный слой, параболический слой, слой, изменяющийся по закону квадрата высоты, косинусный слой, квадратно-гиперболический секансный слой, квазипараболический слой.

*Горизонтальные градиенты электронной плотности в модельных приближениях слоя Чепмена.* Исходя из физических соображений можно полагать, что всякие изменения источника ионизации будут приводить к изменению функции ионообразования, а следовательно и к изменению распределения электронной концентрации в пространстве. В отличие от ионосферы средних широт, где основным источником ионизации является волновое излучение Солнца, в полярных областях значительную, а зачастую и определяющую роль играют корпускулярные потоки, вторгающиеся в атмосферу во время авроральных бурь. Неоднородность вторгающегося потока и его энергетических характеристик будет приводить к неоднородности распределения электронной концентрации. В настоящей работе учет горизонтальных градиентов осуществляется путем отказа от постоянства основных параметров модельных приближений слоя Чепмена (полутолщина слоя, высота начала слоя, высота максимума слоя и др.) и введение функциональных зависимостей этих параметров от координат. Для случая линейных приближений названные параметры могут быть заданы линейными и квадратичными функциями горизонтальных координат. Для случая параболического и квадратичного приближений параметры задаются линейными функциями координат. Обсудим более подробно такой подход к заданию горизонтальных градиентов сначала на нескольких частных примерах.

*Распределение электронной концентрации.* Ионосферу представим набором тонких слоев, в каждом из которых электронная концентрация постоянна, но слои не параллельны поверхности Земли. В целом распределение электронной плотности подчиняется следующему закону

$$N(x_i) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 A_{ij} x_i x_j + 2 \sum_{i=1}^3 B_i x_i + C,$$

причем выполнены условия  $S_1 = S_2 = B_1^* = B_2^* = 0$ , и, кроме того, считается, что либо  $S_3 \neq B_3^* \neq 0$ , либо  $S_3 = 0; B_3^* \neq 0$ .

Введенные параметры  $S_i$  и  $B_i^*$  (где  $i$  принимают значения 1, 2, 3) являются корнями такого уравнения

$$\begin{vmatrix} A_{11} - S & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} - S & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} - S \end{vmatrix} = 0,$$

а  $B_i^*$  определяется выражением

$$B_i^* = A_{14} P_i + A_{24} Q_i + A_{34} R_i,$$

здесь  $P_i, Q_i, R_i$ , в свою очередь, соответствуют определенным  $S_i$  и являются решением следующей системы уравнений

$$\begin{cases} (A_{11} - S_i) P_i + A_{12} Q_i + A_{13} R_i = 0; \\ A_{21} P_i + (A_{22} - S_i) Q_i + A_{23} R_i = 0; \\ A_{31} P_i + A_{32} Q_i + (A_{33} - S_i) R_i = 0, \end{cases}$$

*Дисперсионное уравнение для радиоволны.* Для решения задачи о распространении радиоволны в неоднородной, столкновительной и замагниченной ионосферной плазме будем исходить из уравнения Максвелла

$$\text{rot } \vec{H} = \frac{4\pi}{c} e \cdot N \cdot \vec{v} + \frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}; \quad \text{rot } \vec{E} = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{H}}{\partial t},$$

и уравнения движения электрона

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -e\vec{E} - \frac{e}{c} [\vec{v} \cdot \vec{H}_0] - m\nu \vec{v},$$

где  $\vec{H}_0$  – вектор магнитного поля Земли

$$\vec{H}_0 = H_0 \vec{h};$$

$\nu$  – эффективная частота столкновений электронов в ионосфере.

Предполагая, что все величины изменяются во времени по закону  $\exp(-i\omega t)$  и, пользуясь приближением малого сигнала с нулевыми начальными условиями, перепишем эти уравнения следующим образом:

$$\text{rot } \vec{H} = -iK_0 (\vec{E} + X\vec{R}'); \quad \text{rot } \vec{E} = -iK_0 \vec{H}; \quad \vec{R}' = -\vec{E} - iY' [\vec{R}\vec{h}],$$

где  $X' = \frac{4\pi e^2 N(x_i)}{m\omega^2} \left(1 + i\frac{v}{\omega}\right)^{-1}$ ;  $Y' = \frac{eH_0}{mc\omega} \left(1 + i\frac{v}{\omega}\right)^{-1}$ ;  $\vec{R}' = -i\frac{m\omega}{e} \left(1 + i\frac{v}{\omega}\right) \vec{v}$ ;  $K_0 = \frac{\omega}{c}$ .

Решение этих уравнений будем искать в виде

$$\exp \left[ iK_0 n \begin{pmatrix} P_3 \\ Q_3 \\ R_3 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \right],$$

где  $n$  – показатель преломления ионосферной плазмы;

Тогда, учитывая, что

$$\frac{\partial}{\partial x_1} = iK_0 n P_3; \quad \frac{\partial}{\partial x_2} = iK_0 n Q_3; \quad \frac{\partial}{\partial x_3} = iK_0 n R_3,$$

подставляя эти значения в уравнения Максвелла и группируя члены относительно компонент электрического поля радиоволны  $E_x, E_y, E_z$ , получим систему трех однородных уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} \left\{ \left[ n^2 (Q_3^2 + R_3^2) - 1 \right] (1 - Y'^2) + X' (1 - Y'^2 S_0^2) \right\} E_x - \left[ n^2 P_3 Q_3 (1 - Y'^2) + iX' Y' C_0 \right] E_y - \\ - \left[ n^2 P_3 R_3 (1 - Y'^2) + X' Y'^2 C_0 S_0 \right] E_z = 0; \\ \left[ iX' Y' C_0 - n^2 P_3 Q_3 (1 - Y'^2) \right] E_x + \left\{ \left[ n^2 (P_3^2 + R_3^2) - 1 \right] (1 - Y'^2) + X' \right\} E_y - \\ - \left[ n^2 R_3 Q_3 (1 - Y'^2) + iX' Y' S_0 \right] E_z = 0; \\ \left[ -X' Y' C_0 S_0 + n^2 P_3 R_3 (1 - Y'^2) \right] E_x + \left[ iX' Y' S_0 + n^2 Q_3 R_3 (1 - Y'^2) \right] E_y + \\ + \left\{ (1 - Y'^2 C_0^2) X' - \left[ n^2 (P_3^2 + Q_3^2) - 1 \right] (1 - Y'^2) \right\} E_z = 0. \end{cases}$$

В этих уравнениях  $C_0$  и  $S_0$  – косинус и синус угла между направлением магнитного поля Земли и направлением распространения радиоволны соответственно.

Известно, что такая система будет иметь отличные от нуля решения лишь при условии равенства нулю детерминанта, составленного из коэффициентов при неизвестных. Составляя детерминант системы и приравнявая его к нулю, получаем следующее уравнение

$$\begin{vmatrix} \left\{ \left[ n^2 (Q_3^2 + R_3^2) - 1 \right] k + X' (1 - Y'^2 S_0^2) \right\} & - \left[ n^2 P_3 Q_3 k + iX' Y' C_0 \right] & - \left[ n^2 P_3 R_3 k + X' Y'^2 C_0 S_0 \right] \\ \left[ iX' Y' C_0 - n^2 P_3 Q_3 k \right] & \left\{ \left[ n^2 (P_3^2 + R_3^2) - 1 \right] k + X' \right\} & - \left[ n^2 R_3 Q_3 k + iX' Y' S_0 \right] \\ \left[ -X' Y' C_0 S_0 + n^2 P_3 R_3 k \right] & \left[ iX' Y' S_0 + n^2 Q_3 R_3 k \right] & \left\{ (1 - Y'^2 C_0^2) X' - \left[ n^2 (P_3^2 + Q_3^2) - 1 \right] k \right\} \end{vmatrix} = 0;$$

$$k = 1 - Y'^2.$$

Это уравнение есть дисперсионное уравнение для радиоволны обыкновенной и необыкновенной поляризации в неоднородной, столкновительной и замагниченной ионосферной плазме. В случае отсутствия горизонтальных градиентов будем иметь  $P_3 = Q_3 = 0$ ;  $R_3 = 1$ , и уравнение превращается в известное уравнение – уравнение Эпплтона-Хартри [2].

**Вектор поляризации радиоволны.** Опираясь на приведенные выше рассуждения, получим дисперсионное уравнение для радиоволны и выражение для вектора поляризации применительно к конкретной модели ионосферной плазмы. Рассмотрим модель из числа тех, что рассматривались в первом разделе. Пусть распределение электронной концентрации в ионосфере описывается следующим законом

$$N = N_{\max} \left[ 1 - \frac{(x_3 + mx_1 - h_0)^2}{z_T^2} \right],$$

где  $m$  – определяет горизонтальный градиент электронной плотности;

$h_0$  – высота расположения максимума слоя ионизации в начальной точке, то есть при  $x_1 = 0$ .

Решение уравнений Максвелла и уравнения движения электрона будем искать в виде:

$$\exp \left[ iK_0 n \left( \frac{m}{\sqrt{m^2 + 1}} x_1 + \frac{1}{\sqrt{m^2 + 1}} x_3 \right) \right].$$

Тогда, учитывая, что

$$\frac{\partial}{\partial x_1} = iK_0 n \frac{m}{\sqrt{m^2 + 1}}; \quad \frac{\partial}{\partial x_2} = 0; \quad \frac{\partial}{\partial x_3} = iK_0 n \frac{1}{\sqrt{m^2 + 1}},$$

после несложных преобразований найдем дисперсионное уравнение

$$\begin{vmatrix} \left(\frac{n^2}{m^2 + 1}\right)(1 - Y'^2) + X'(1 - Y'^2 S_0^2) & -iX'Y'C_0 & -X'Y'^2 C_0 S_0 - \frac{n^2 m}{m^2 + 1}(1 - Y'^2)^2 \\ iX'Y'C_0 & (n^2 - 1)(1 - Y'^2) + X' & -iX'Y'S_0 \\ -X'Y'^2 C_0 S_0 - \frac{n^2 m}{m^2 + 1}(1 - Y'^2) & iX'Y'S_0 & (1 - Y'^2 C_0^2) X' - \left(\frac{n^2 m^2}{m^2 + 1} - 1\right)(1 - Y'^2)^2 \end{vmatrix} = 0.$$

Теперь, исходя из системы полученных уравнений, нетрудно записать выражение для вектора поляризации радиоволны. Это выражение будет иметь следующий вид

$$\rho_{12} = \frac{(1 - X')n_{12}^2 - (1 - X')^2}{(1 - X')iY'C_0(n_{12}^2 - 1) - \frac{m^2 iY'C_0}{m^2 + 1}(n_{12}^2 - 1) + iY'S_0 \frac{m}{m^2 + 1}n_{12}^2(n_{12}^2 - 1)},$$

где  $n_{12}^2$  – квадрат показателя преломления для обыкновенной (1) и необыкновенной (2) волн.

Выражения для показателя преломления и вектора поляризации радиоволны указывают на то, что при вертикальном зондировании радиоволна будет дополнительно отклоняться от вертикали за счет наличия горизонтального градиента электронной концентрации. Такие отклонения радиоволны приведут к потере усиления антенны и к появлению «эффекта утраивания».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гудмен, Дж. М. Влияние ионосферных эффектов на современные электронные системы / Дж. М. Гудмен, Ж. Ааронс // ТИИЭР. -1990. -Т.78, №3. -С. 59-76.

2 Девис, К. Радиоволны в ионосфере: пер. с англ. / К. Девис; под ред. А.А. Корчака. -М.: Мир, 1973. -301 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиосвязь, ионосфера, электронная концентрация, слой Чепмена, рефракция, поляризация, вертикальное радиозондирование

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Калитёнков Николай Васильевич, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
Милкин Владимир Иванович, доцент ФГБОУ ВПО «МГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 183010, г.Мурманск, ул.Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»

## **МИНИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СОСТОЯНИЕМ БЕЗОПАСНОСТИ СУДНА**

**ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»**

**В.И. Меньшиков, М.С. Житняк, А.Ю. Блажеев**

### **MINIMISATION OF INFORMATION DISTORTIONS AT MANAGEMENT OF A CONDITION OF SAFETY OF A VESSEL**

Murmansk state technical university

V.I. Menshikov, M.S. Zhityak, A.Yu. Blageev

In presented article functioning of intellectual vertical communications in a ship control system of safety is considered. And conditions of occurrence of unforeseen horizontal communications, and also possibility of the decision of the given problem.

*Keywords: ship control system of safety, horizontal communications, vertical communication, the deformed information, the penalty*

Рассматривается функционирование интеллектуальных вертикальных связей в судовой системе управления безопасностью. И условия возникновения непредусмотренных горизонтальных связей, а также возможность решения данной проблемы.

Управление состоянием судовой СУБ в виде мероприятий, реализуемых капитаном в рамках своей ответственности, осуществляется на вертикальных организационных связях. Однако, в процессе эксплуатации судовой СУБ могут возникнуть не предусмотренные структурой судовой СУБ случайные горизонтальные связи. Такие связи возникают при частичном отсутствии у начальников судовых служб общности интересов в части придания судну общего состояния безопасности. Такие связи, имея временный характер, будут неизбежно возникать при распределении и перераспределении ресурсов для судовых служб, а так же поощ-

рений за эффективность деятельности этих служб. Действительно, с одной стороны, начальники судовых служб будут рассматривать действующие нормы распределения и перераспределения ресурсов через призму эксплуатационной безопасности всего судна в целом. С другой стороны естественным желанием любого начальника судовой службы будет стремление большей ресурсообеспеченности именно своей службы. Именно такие противоречия начальников судовых служб и обеспечивают возникновение и существование временных горизонтальных связей, на которых реализуются отношения конкурентности. При этом желание разрешить конфликт в свою пользу может привести к тому, что начальник судовой службы будет искажать в пользу своей службы данные в докладах капитану о результатах деятельности и тем самым снижать эффективность функционирования интеллектуальных вертикальных связей в судовой СУБ.

Далее положим, что в ситуации возникновения элементов конкуренции ни один из участников конфликта не может просто «выйти из игры», а, кроме того, в силу требований общей безопасности, никто не может вмешиваться в данный конфликт. Тогда полным и обобщенным описанием интересов парных элементов из состава второго уровня управления судовой СУБ  $W_i \in W$ , связанных временной горизонтальной связью будет целевая функция  $P_i(k_i), i = 1, 2$  каждого из этих элементов. Если далее считать, что любые два участника конфликтной ситуации из  $W$  не руководствуются никакими дополнительными соображениями, а только желанием максимально реализовать свою целевую функцию, то, получим условие, при котором осуществляется искажение информации на множестве  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$  сообщений  $\xi_i$ , идущих по обратным связям «начальник судовой службы-капитан судна»

$$P_1(k_1) > P_2(k_2); P_1(k_1) < P_2(k_2), \quad (1)$$

где  $P_1(k_1)$  – целевая функция первого начальника судовой службы;

$P_2(k_2)$  – целевая функция второго начальника судовой службы;

$k_1, k_2$  – стратегии, определяющие конкурентное поведение этих начальников служб при распределении или перераспределении ресурсов и поощрений соответственно.

Для того чтобы реализовать согласованный выбор нормы  $r_i$  поведения начальники судовых служб, должны отказаться от имеемых у них рычагов влияния на капитана судна и руководствоваться совершенно иным отношением на множестве пар  $W$ . С помощью аппарата высшей алгебры желаемую связь между элементами  $W_1$  и  $W_2$  можно записать так

$$W_1 \text{ и } W_2 \in W(W_1 \text{ и } W_2) \in r_3 \Leftrightarrow W_1 \sim W_2. \quad (2)$$

Выражение (2) определяет «партнерское» отношение между начальниками судовых служб. Именно «партнерское» отношение способно перевести конфликтную ситуацию в устойчивое компромиссное соглашение между обоюдными заинтересованными сторонами и исключающее искажение сообщения  $\xi_i$  из множества  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$ .

Для систем управления безопасностью судов характерной особенностью информационного взаимодействия между капитаном или его начальниками судовых служб является то, что капитан получает требуемую информацию с некоторым запаздыванием во времени. Достоверная информация должна поступать к капитану на этапе принятия им решений, а запаздывание во времени или искажение информации естественно затрудняет как само принятие решения, так и оценку последствия от реализации такого решения. Кроме того, в процессе принятия решений не исключено появление противоречивых информационных сообщений. Наиболее очевидным способом получения капитаном от начальников судовых служб достоверной информации является использование в практике функционирования судовой СУБ целевой функции штрафа накладываемого на начальников судовых служб за искажения информации в сообщениях  $\xi_i$  из множества  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$ .

Капитан судна путем сравнения докладов  $y_v^* - 1$  и  $y_v - 1$  может построить тот или иной показатель искажения в них информации и «наказать» начальника судовой службы в случае не совпадения  $y_v^* - 1$  и  $y_v - 1$ .

Далее в качестве целевой функции начальника судовых служб при его конкурентной борьбе за ресурс будем использовать выражение, предложенное в работе и записанное так

$$P[y_{v-1}^*, y_v, x_v(y_{v-1}^*), y_v] = H_1 \delta(y_{v-1}^* - y_{v-1}) + H_2 e[y_v - x_v(y_{v-1}^*)] - H_3 e\{1 - y_v - e[y_v - x_v(y_{v-1}^*)]\}, \quad (3)$$



где  $H_1\delta(y_{v-1}^* - y_{v-1}); H_2e[y_v - x_v(y_{v-1}^*)]; H_3e\{1 - y_v - e[y_v - x_v(y_{v-1})]\}$  – локальные показатели этой функции.

Тогда в качестве показателя искажения информации на множестве сообщений  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$ , поступающем по обратным связям от начальника судовой службы к капитану, можно рекомендовать индикаторную функцию вида:

$$\delta(y_{v-1}^* - y_{v-1}) = 1,$$

если  $k_i \neq k_j$ ,  $\delta(y_{v-1}^* - y_{v-1}) = 0$ , в противном случае.

Наличие целевой функции у конкурирующих начальников судовых служб и возможность искажения информации на множестве  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$  целесообразно в данном случае отразить следующим условием:

$$P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v], \tag{4}$$

– если  $y_{v-1}^* = y_{v-1}$ ,  $P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v] = P_2[x_v(y_{v-1}), y_v];$

– если  $y_{v-1}^* \neq y_{v-1}$ ,  $P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v] \leq P_2[x_v(y_{v-1}), y_v].$

В соответствии с рекомендуемым условием при совпадении  $y_{v-1}^*$  и  $y_{v-1}$ .

штраф за искажение информации, назначаемый капитаном равен нулю и значение целевой функций у начальника судовой службы со штрафом за искажение информации и без штрафа совпадают. Если же для приобретения выгоды в условиях конкурентности начальник судовой службы искажает информацию в свою пользу и  $y_{v-1}^* \neq y_{v-1}$ , то штраф за такую деятельность уменьшает значение  $P_2[x_v(y_{v-1}), y_v]$  его целевой функции.

Очевидно, что введение капитаном в целевые функции начальников судовых служб «достаточно сильных штрафов» за искажения информации о деятельности судовых служб можно обеспечить достоверность сообщениям, которые поступают капитану по обратным вертикальным интеллектуальным связям, предусмотренных структурой судовой СУБ.

Условие достаточной силы штрафов накладываемых капитаном судна на начальников служб за наблюдаемые искажения информации в рассматриваемом случае имеет вид для  $\forall y_v \in Y_v(y_{v-1})$

$$\max P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v] \geq \max P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v]; y_v \in Y_v(y_{v-1}).$$

Последнее условие для отношения вида  $\forall y_v \in Y_v(y_{v-1})$  можно заменить следующим выражением

$$P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v] \geq P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v],$$

и, подставив в него целевую функцию начальника судовой службы, найдем

$$P(y_{v-1}, y_{v-1}) + P_2[x_v(y_{v-1}), y_v] \geq P_1(y_{v-1}^*, y_{v-1}) + P_2[x_v(y_{v-1}^*), y_v]. \tag{5}$$

Если далее использовать свойство функции штрафа за искажение информации (4), то условие (5) можно преобразовать так

$$P_1(y_{v-1}^*, y_{v-1}) \geq P_2[x_v(y_{v-1}^*), y_v] - P_2[x_v(y_{v-1}), y_v],$$

а учитывая значения локальных показателей из (3) для случая  $\forall y_v \in Y_v(y_{v-1})$  окончательно получим

$$H_1e(y_{v-1}^* - y_{v-1}) \geq H_2e[y_v - x_v(y_{v-1}^*)] - H_3e\{1 - e[y_v - x_v(y_{v-1}^*)]\} - H_2e[y_v - x_v(y_{v-1})] + H_3e\{1 - e[y_v - x_v(y_{v-1})]\}. \tag{6}$$

Пусть начальник службы в некоторый момент времени сообщает капитану судна искаженную информацию о деятельности своих подчиненных

$$y_{v-1}^* \neq y_{v-1}.$$

Далее будем считать, что при передаче искаженной информации  $y_{v-1}^*$  начальник службы должен выполнять элемент плана по обеспечению безопасности судна, который должен быть выполнен в силу его обязательности и выгоды при конкуренции с другими службами, то есть  $y_v = x_v(y_{v-1}^*)$ . Действительно, в противном случае начальнику службы не было бы смысла искажать информацию. Тогда, учитывая, что  $x_v(y_{v-1}^*) \neq x_v(y_{v-1})$  и выводы (6) найдем

$$H_1 \geq H_2 + H_3.$$

Полученное условие определяет достаточную «силу» штрафа, накладываемого капитаном на начальника судовой службы за искажение информации в обратной интеллектуальной связи, предусмотренной структурой судовой СУБ. При этом штрафе элементы пары  $(W_1 \text{ и } W_2) \in W$  из состава судовой СУБ всегда будут сообщать достоверную информацию капитану о состоянии дел в своей службе. Смысл полученного условия состоит в том, что потери целевой функции начальника судовой службы при искажении информации должны быть не меньше его дополнительного выигрыша, полученного при реализации полученных преимуществ в конкурентных отношениях с другими начальниками служб.

Таким образом, возможное появление не заявленных в структуре судовой СУБ одномоментных горизонтальных связей с элементами конкурентных отношений и их влияние на достоверность множества  $\Xi = \{\xi_1 \dots \xi_n\}$ , может быть достигнуто путем введения системы «штрафов». Использование системы таких «штрафов» следует рассматривать как составную часть культуры управления компании, включая механизм применения этих «штрафов» в состав должностных обязанностей капитана судна.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судовая система управления безопасностью, горизонтальные связи, вертикальная связь, искаженная информация, штраф  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
*Житняк Максим Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
*Блажеев Артур Юрьевич, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»

## **ПОБУЖДЕНИЕ К РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПА «ЧТО ВИЖУ, ТО ДОКЛАДЫВАЮ» У «ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ» В СУДОВОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ**

**ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»**

**В.И. Меньшиков, И.А. Кулезнёв, А.Ю. Блажеев**

### **MOTIVATION TO PRINCIPLE REALIZATION «THAT I SEE. I REPORT» OF «HUMAN ELEMENTS» IN A SHIP CONTROL SYSTEM OF SAFETY**

Murmansk state technical university  
V.I. Menshikov, I.A. Kuleznev, A.Yu. Blageev

In presented article functioning of intellectual vertical communications in a ship control system of safety is considered. And conditions of occurrence of unforeseen horizontal communications, and also possibility of the decision of the given problem.

*Keywords: ship control system of safety, horizontal communications, vertical communication, the deformed information, the penalty*

Рассмотрено функционирование интеллектуальных вертикальных связей в судовой системе управления безопасностью. Условия возникновения непредусмотренных горизонтальных связей, а также возможность решения данной проблемы.

Требования, направленные на обеспечение достоверности информации при планировании и реализации судовой или промысловой операции в системе управления состоянием безопасности (СУБ) судна может существенно улучшить качество решений, принимаемых капитаном, таких например, как прогноза состояния или реализуемости механизма функционирования ходовой вахты. Кроме того, достоверность информации будет способствовать минимизации в принятии и использовании частично или полностью не работающих решений, которые будут приводить к критическим ситуациям за счет накапливающихся ошибок. При построении конкретного механизма функционирования судовой вахты дополнительно может возникнуть вопрос о том, обеспечивает ли этот механизм достоверность сообщений идущих к капитану или его помощнику от человеческих элементов, входящих в состав вахтенной службы. Если же конкретный механизм функционирования судовой вахты не обеспечивает достоверность поступления информации, то достаточно важен вопрос – какую величину искажения данных может и должен ожидать капитан или его вахтенный помощник при принятии решений по выбору управлений состоянием безопасности судна.

Для систем управления безопасностью судов характерной особенностью информаци-

онного взаимодействия между капитаном или его вахтенным помощником и человеческими элементами из состава ходовой вахты является то, что управляющее состоянием судна лицо получает требуемую информацию с некоторым запаздыванием во времени. Достоверная информация поступает к капитану или его вахтенному помощнику на этапе принятия решения, что естественно затрудняет оценку последствия от реализации таких решений. Кроме того, в процессе принятия решений не исключено появление противоречивых информационных сообщений, поэтому наиболее очевидным способом получения от судов компании достоверной информации является использование в целевой функции штрафа накладываемого на «человеческие элементы» за прямые показатели искажения информации. Тогда капитан судна путем сравнения значений  $y_{v-1}^*$  и  $y_{v-1}$  может построить тот или иной показатель искажения информации и «наказать» человеческий элемент в случае не совпадения  $y_{v-1}^*$  и  $y_{v-1}$ .

Если в качестве работы целевой функции «человеческого элемента» из состава ходовой вахты использовать выражение, предложенное в [1] и записанное так

$$P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v] = H_1 \delta(y_{v-1}^* - y_{v-1}) + H_2 e[y_v - x_v(y_{v-1}^*)] - H_3 e\{1 - y_v - e[y_v - x_v(y_{v-1})]\}, \quad (1)$$

слагаемые в левой части – локальные показатели этой функции.

Тогда в качестве показателя искажения информации множества сообщений, поступающих по обратным связям от начальника судовой службы к капитану, можно рекомендовать индикаторную функцию вида:

$$\delta(y_{v-1}^* - y_{v-1}) = \begin{cases} 1, & \text{если } k_i \neq k_j; \\ 0. & \end{cases} \quad (2)$$

В противном случае наличие целевой функции у конкурирующих начальников судовых служб и возможность искажения информации на множестве целесообразно в данном случае отразить следующим условием:

$$P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v] \begin{cases} = P_2[x_v(y_{v-1}), y_v], & \text{если } y_{v-1}^* = y_{v-1}; \\ \leq P_2[x_v(y_{v-1}), y_v], & \text{если } y_{v-1}^* \neq y_{v-1}. \end{cases} \quad (3)$$

В соответствии в рекомендуемым условием при совпадении  $y_{v-1}^*$  и  $y_{v-1}$ , штраф за искажение информации, назначаемый капитаном равен нулю и значение целевой функций у начальника судовой службы со штрафом за искажение информации и без штрафа совпадают. Если же для приобретения выгоды в условиях конкурентности начальник судовой службы искажает информацию в свою пользу и  $y_{v-1}^* \neq y_{v-1}$ , то штраф за такую деятельность уменьшает значение  $P_2(x_v(y_{v-1}), y_v)$  его целевой функции.

Очевидно, что введение капитаном в целевые функции начальников судовых служб «достаточно сильных штрафов» за искажения информации о деятельности судовых служб можно обеспечить достоверность сообщениям, которые поступают капитану по обратным вертикальным интеллектуальным связям, предусмотренных структурой судовой СУБ.

Условие достаточной силы штрафов накладываемых капитаном судна на начальников служб за наблюдаемые искажения информации в рассматриваемом случае имеет вид для  $\forall y_v \in Y_v(y_{v-1})$

$$\max P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v] \geq \max P[y_v^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v]. \quad (4)$$

Последнее условие для отношения вида  $\forall y_v \in Y_v(y_{v-1})$  можно заменить следующим выражением

$$P[y_{v-1}, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v] \geq P[y_{v-1}^*, y_{v-1}, x_v(y_{v-1}^*), y_v], \quad (5)$$

и, подставив в него целевую функцию начальника судовой службы, найдем

$$P(y_{v-1}, y_{v-1}) + P_2[x_v(y_{v-1}), y_v] \geq P_1(y_{v-1}^*, y_{v-1}) + P_2[x_v(y_{v-1}^*), y_v]. \quad (6)$$

Если далее использовать свойство функции штрафа за искажение информации (1), то условие (6) можно преобразовать так

$$P_1(y_{v-1}^*, y_{v-1}) \geq P_2(x_v(y_{v-1}^*), y_v) - P_2(x_v(y_{v-1}), y_v),$$

а учитывая значения локальных показателей из (7) для случая  $\forall y_v \in Y_v(y_{v-1})$  окончательно получим

$$H_1 e^{(y_{v-1}^* - y_{v-1})} \geq H_2 e^{[y_v - x_v(y_{v-1}^*)]} - H_3 e^{\{1 - e^{[y_v - x_v(y_{v-1}^*)]}\}} - H_2 e^{[y_v - x_v(y_{v-1})]} + H_3 e^{\{1 - e^{[y_v - x_v(y_{v-1})]}\}}. \quad (7)$$

Пусть начальник службы в некоторый момент времени сообщает капитану судна искаженную информацию о деятельности своих подчиненных

$$y_{v-1}^* \neq y_{v-1}.$$

Далее будем считать, что при передаче искаженной информации  $y_{v-1}^*$  начальник службы должен выполнять элемент плана по обеспечению безопасности судна, который должен быть выполнен в силу его обязательности и выгоды при конкуренции с другими службами, то есть  $y_v = x_v(y_{v-1}^*)$ . Действительно, в противном случае начальнику службы не было бы смысла исказить информацию. Тогда, учитывая, что  $x_v(y_{v-1}^*) \neq x_v(y_{v-1})$  и выводы (7) найдем

$$H_1 \geq H_2 + H_3. \quad (8)$$

Таким образом, полученное условие определяет достаточную «силу» штрафа, накладываемого капитаном на начальников судовых служб за искажение информации в обратной интеллектуальной связи, предусмотренной структурой судовой СУБ. Этот штраф всегда будет стимулировать достоверность информации о состоянии дел в судовых службах. Смысл полученного условия состоит в том, что потери целевой функции начальника судовой службы при искажении им информации будут не меньше его дополнительного выигрыша, полученного при реализации полученных преимуществ в конкурентных отношениях с другими начальниками служб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бурков, В.Н. Механизмы функционирования информационных систем / В.Н. Бурков, В.В. Кондратьев. -М.: Наука, 1969. - 264 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *судовая система управления безопасностью, горизонтальные связи, вертикальная связь, искаженная информация, штраф*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
Кулезнёв Игорь Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
Блажеев Артур Юрьевич, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *183010, г.Мурманск, ул.Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»*

## «УМНЫЙ» СТОР ЛАЗЕРНОЙ НАВИГАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**В.С. Деева, С.М. Слободян**

**SENSIBLE ALIGNMENT OF THE LASER VISUAL NAVIGATION**  
National research Tomsk polytechnic university  
V.S. Deeva, S.M. Slobodyan

A new construction principle of laser alignment for mobile objects navigation was proposed. It realize on the basis of the control of the laser beam parameters.

*Keywords: alignment, laser, visual navigation*

Предложен новый принцип построения лазерного створа для навигации подвижных объектов, реализуемый на основе управления параметрами лазерного пучка.

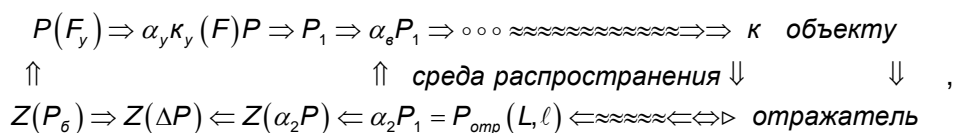
Несмотря на впечатляющие успехи в автоматизации управления техническими средствами не следует ожидать, что человек, как звено систем управления, в ближайшем будущем будет полностью заменен автоматикой, особенно, в области управления воздушными, водными и наземными транспортными средствами [1-5]. Опыт создания лазерных створов, результаты исследований и натурных испытаний при навигации судов, управляемых человеком, в условиях речных (р.Нева, р.Москва) и морских (порты Балтики и Черного моря) акваторий приводят к выводу, что для оптимального функционирования систем оптической навигации и проводки судов и других транспортных средств по лазерным створам нужен учет не только адаптивных способностей, но и психофизиологических факторов восприятия человека. Один из таких факторов: наличие, санитарных норм уровней лазерного облучения, безо-

пасных для глаза – анализатора информации и датчика системы оценки навигационной обстановки. Проблема, создаваемая влиянием этого фактора в виде ограничения дальности действия лазерных средств визуального ориентирования, сохраняет актуальность до сих пор.

Существование предельного уровня облучения глаза человека на минимальной дистанции положения объекта в определённой степени ограничивает предельно возможный диапазон дальности действия средств лазерной навигации. Простой путь его увеличения – повышение мощности излучения лазерного створа – указателя рекомендуемой траектории движения объекта. Разрешению этого противоречия – обеспечению наибольшей дальности действия лазерного створа с соблюдением требований, норм и правил техники безопасности на минимальной дистанции управления судном по рекомендуемой траектории и посвящена данная работа. Ниже проводится анализ одного из вариантов решения – путь динамического (в реальном времени) управления уровнем облучённости глаз человека как специфического зрительного анализатора – звена системы управления подвижным транспортным средством на основе принципа оптической локации [4-6].

Во многих публикациях, например [7-8], посвящённых стабилизации параметров лазера, в том числе мощности лазерного излучения не рассматриваются вопросы, связанные с проблемой совместимости требований физиологии человека с наилучшим применением аппаратных лазерных средств навигации подвижного объекта, то есть принятии во внимание специфичности психологии и зрительного восприятия лазерного излучения оператором. Для успешного применения лазерных створов при навигации объектов – транспортных средств учет реакции человека на лазерное излучение необходим. Так при приближении объекта навигации к лазерному створу облучённость и освещённость глаза оператора, управляющего объектом, возрастает с уменьшением расстояния по квадратичному закону. Это нарушает комфортность, раздражает оператора и затрудняет применение эффективных лазерных навигационных систем ориентирования транспортных средств [1-3].

Алгоритм предложенного принципа стабилизации облучения объекта наведения, управляемого человеком, с включением подвижного объекта в контур ранжирования управления стабилизацией мощности лазерного излучения может быть представлен графически схемой, приводимой ниже:



- где  $P(F_y)$  – мощность излучения лазерного источника створа;
- $F_y = \kappa_y(F)$  – функция управления мощностью излучения лазера створа;
- $P_1 \Rightarrow \alpha_y \kappa_y(F) P$  – мощность лазерного излучения на выходе оптического элемента, управляющего величиной лазерного сигнала;
- $\alpha_y, \kappa_y(F)$  – соответственно, коэффициент и функция управления величиной лазерного сигнала;
- $\alpha_g P_1$  – мощность лазерного излучения на выходе створа;
- $\alpha_g$  – коэффициент передачи выходных оптических элементов створа (защитного окна, формирующей лазерный пучок оптики и т.п.);
- $\alpha_{\text{атм}}(L), \alpha_{\text{отп}}(L)$  – ослабление, вносимое средой распространения (функция удаления объекта и геометрии оптической схемы) и отражателем (функция его размеров и геометрии);
- $\alpha_2 P_1 = P_{\text{отп}}(L, \ell)$  – мощность отраженного объектом излучения, падающая на вход фотоприемника лазерного створа;
- $\alpha_2 = f(\kappa_{\text{фп}}, \alpha_{\text{атм}}, \alpha_{\text{отп}})$  – коэффициент передачи или преобразования лазерного сигнала, пропорциональный усилению фотоприемника  $\kappa_{\text{фп}}(\alpha_2 P / P_{\text{отп}})$ ;
- $Z(\alpha_2 P)$  – выходной сигнал фотоприемника;
- $Z(P_g)$  – сигнал стандарта безопасного уровня облучённости глаза лазерным излучением;

$Z(\Delta P)$  – отклонение величины лазерного сигнала, принимаемого оператором, от безопасного для глаза установленного стандартом уровня облучения;

$\kappa_y(Z_{\Delta P})$  – коэффициент передачи элементов тракта формирования сигнала управления, регулирующих мощность лазерного источника.

Представленный алгоритм стабилизации облучения объекта реализуется введением в структуру лазерного створа дополнительного контура обратной связи, содержащего пассивный линейный элемент – оптический отражатель с коэффициентом передачи  $\leq 1$  установленный на подвижном объекте. Контур обратной связи включается автоматически в момент облучения объекта лазерным пучком створа на предельно достижимой для автоматики дистанции обнаружения объекта, когда поток облучения объекта и глаза оператора весьма мал. В общем случае контур обратной связи содержит нелинейный элемент – устройство управления мощностью лазерного излучения створа. Управление мощностью лазерного излучения створа может быть выполнено двумя путями. Во первых, управлением параметрами режима источника питания лазерного генератора и, во-вторых, изменением прозрачности тракта передачи лазерного излучения в структуре створа. Во втором варианте для управления прозрачностью оптического тракта створа полезны свойства поляризации лазерного излучения и для расширения динамического диапазона управления – нелинейные свойства электрооптических кристаллов. Конкретные решения устройств управления мощностью излучения ниже не рассматриваются; считается, что управление параметрами створа и излучения при наведении объекта выполняется в реальном времени.

С точки зрения быстродействия стабилизации уровня облучения лазерным пучком в основу рассматриваемого алгоритма положено сочетание управления мощностью излучения не- или стабилизированного лазера [9] с внешним контуром, включающим как звено контура управления сам объект навигации с угловым или, адекватным ему, зеркально-линзовым отражателем [4-6], установленным на объекте навигации, то есть с активным внешним элементом контура стабилизации мощности лазерного излучения створа. Контур стабилизации мощности излучения створа активизируется с момента появления объекта в поле действия створа за счет включения объекта в цепь обратной связи контура управления. При отсутствии объекта контур управления мощностью лазерного излучения разомкнут. Створ генерирует максимальную мощность лазерного излучения, обеспечивая, таким образом, предельную дальность действия.

В известных моделях основа управления мощности лазерного излучения – критерий постоянства его передачи во внешнюю среду. В настоящей работе, в отличие от известного, принят критерий дистанционного динамического ранжирования уровня облучённости безопасного для глаз оператора, управляющего объектом.

Для медленно движущихся объектов динамику стабилизации облучения лазерным створом в первом приближении можно рассматривать в статическом – «замороженном» режиме. Поэтому, при малой скорости перемещения объекта, расстояние в интервале времени между двумя моментами облучения объекта сканирующим пучком лазерного створа или на интервале такта оценки отклонения величины отражённого сигнала, определяющего тактовый интервал оценки мощности сигнала не сканирующего лазерного створа, меняется не существенно. Это значит, что анализ идет при допущении малости изменения принимаемой створом мощности отражённого лазерного сигнала на интервале времени между двумя смежными выборками сигнала. Тогда в основу стабилизации облучения объекта и глаза оператора лазерным пучком створа с активным контуром обратной связи для регулирования выходной мощности, например, линейно поляризованного излучения лазера путем управления взаимной угловой ориентацией скрещенных поляризаторов или вращения призмы Волластона, можно положить монотонный закон управления выходной мощностью лазера.

Применим для стабилизации облучения объекта лазерным створом в контуре обратной связи закон управления мощностью лазерного излучения  $\ddot{Z} + U = 0$  с управляющим прозрачностью оптического тракта воздействием вида  $U = K_y^2 Z + 2K_y \dot{Z}$ .

Дифференциальное уравнение алгоритма управления мощностью лазерного излучения створа примет вид:

$$\ddot{Z} + 2\kappa_y \dot{Z} + \kappa_y^2 Z = 0.$$

Корни его решения относительно  $\kappa_y$  для рабочей точки  $Z_0$ , обычно соответствующей средней точке диапазона регулирования:

$$\begin{cases} Z = [Z_0 + (\dot{Z}_0 + \kappa_y Z_0) t] \exp(-\kappa_y t); \\ \dot{Z} = [\dot{Z}_0 - \kappa_y (\dot{Z}_0 + \kappa_y Z_0) t] \exp(-\kappa_y t). \end{cases}$$

Приняв в системе уравнений условие  $\dot{Z}_0 = -\kappa_y Z_0$ , упростим решение:

$$\begin{cases} Z = Z_0 \exp(-\kappa_y t); \\ \dot{Z} = \dot{Z}_0 \exp(-\kappa_y t). \end{cases}$$

Отсюда  $\kappa_y = -\dot{Z}/Z$  и  $U = \kappa_y \dot{Z}$ . Полученное решение говорит о том, что величина рассогласования сигнала соответствующего значению выходной мощности лазерного излучения пучка створа и сигнала управления отражающего уровень облучения объекта навигации плавно изменяются во времени по закону  $\exp(-\kappa_y t)$ , что соответствует аperiodическому процессу управления уровнем выходной мощности лазерного створа наведения с нулевым перерегулированием. Экспоненциальный закон управления как плавное воздействие отрабатывается устройствами управления мощностью излучения лазерного пучка без возникновения колебаний процесса в элементах регулирования прозрачности оптического тракта и мощности лазера. Закономерность изменения мощности в координатах  $(Z; \dot{Z})$  линейная. Диапазон управления прозрачностью оптического тракта створа ограничен величиной  $U_{\max} \geq |\dot{Z}^2/Z|$ . Изложенный подход управления облучением объекта обеспечивает изменение мощности лазерного излучения от максимального до нулевого, то есть до полного подавления лазерного сигнала. При малом значении  $\kappa_y$  время переходного процесса установки требуемой мощности лазерного излучения может быть большим. Это приводит к необходимости ограничения минимального значения  $\kappa_y$ . Увеличение коэффициента передачи контура управления облучением динамического объекта для повышения быстродействия вызовет нарушение монотонности, так как при неизвестных реальных условиях трудно предположить будет ли выполнено ограничение на управление [5]. Описанный алгоритм реализует пропорциональный закон управления мощностью лазерного излучения створа при наведении динамического объекта.

**Выводы.** Предложен метод управления облучением объекта навигации, обеспечивающий изменение мощности излучения от максимального до нулевого уровня, то есть до полного подавления лазерного сигнала. Показано, что метод управления мощностью луча створа, представленный системой уравнений, позволяет управлять как уровнем мощности лазерного излучения, так и фокусировкой лучей створа по цепи оптимального управления его мощности, повышая быстродействие всей системы наведения в целом при инструментальном и визуальном ориентировании подвижного объекта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Цупин, А.А. Лазерные средства навигационного оборудования для ориентирования подвижных объектов / А.А. Цупин, С.М. Слободян. -М.: Мэйлер, 2013. -166 с.
- 2 Слободян, С.М. Лазерные навигационные системы наведения автономных транспортных средств / С.М. Слободян, А.А. Цупин // Зарубеж. радиоэлектроника. -1988. -№6. -С. 13-20.
- 3 Слободян, С.М. Многофункциональные визуально-инструментальные лазерные навигационные комплексы морского применения / С.М. Слободян, А.А. Цупин // Фундамент. исслед. -2009. -№3. -С. 102-103.
- 4 Сазанович, В.М. Случайные смещения изображения при локации в турбулентной атмосфере / В.М. Сазанович, С.М. Слободян, В.П. Лукин // Изв. высш. учеб. заведений. Радиофизика. -1980. -№6. -С. 721-729.
- 5 Слободян, С.М. Телевизионная диагностика лазерных пучков / С.М. Слободян. -Барнаул: Азбука, 2006. -224 с.
- 6 Слободян, С.М. Моделирование адаптивных оптико-электронных следящих систем контроля и управления объектами / С.М. Слободян // Информационные технологии и математическое моделирование: материалы Всерос. науч.-практ. конф. -Томск, 2002. -С. 300-301.
- 7 Галутва, Г.В. Селекция типов колебаний и стабилизация частоты оптических квантовых генераторов / Г.В. Галутва, А.И. Рязанцев. -М.: Связь, 1972. -228 с.
- 8 Аленцев, Б.М. Создание измерительного лазера с нормированными энергетическими характеристиками / Б.М. Аленцев // Измерител. техника. -1980. -№7. -С. 21-22.
- 9 Современные микроконтроллеры. Архитектура, средства проектирования, примеры применения, ресурсы сети Интернет / под ред. И.В. Коршуна; пер. с англ. Б.Б. Горбунова. -М.: Аким, 1998. -272 с.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** створ, лазер, визуальное наведение

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Деева Вера Степановна, аспирант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

Слободян Степан Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СМЕЩАЮЩИХСЯ ГРУЗОВ С ДИСКРЕТНОЙ БЕЗРАСПОРНОЙ СТРУКТУРОЙ

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

Т.Е. Маликова

### THEORETICAL MODEL OF SHIFTING CARGOES WITH DISCONTINUOUS CRIBBING-FREE STRUCTURE

Maritime state university named after G.I. Nevelskoi

T.E. Malikova

The paper is devoted to the issues of safe transportation of shifting deck cargoes. In particular, a theoretical model of shifting for cargoes with discontinuous cribbing-free structure is proposed. This will then be used for the transition to an analytical model of the connected system «shifting cargo – specialized device».

*Keywords: shifting cargo, controller, theoretical model, system, modeling, discontinuous structure*

Рассмотрен вопрос безопасной перевозке смещающихся грузов на палубе судна. В частности, предложена теоретическая модель процесса смещения груза с дискретной безраспорной структурой, которая используется для перехода к аналитической модели связанной системы «смещающийся груз-специустройство».

В современных условиях работу транспорта следует рассматривать как непрерывный технологический процесс, в котором каждый вид транспорта, участвующий в транспортировке груза, обеспечивает движение материального потока по каналам логистической сети. Несвоевременная и несохранная доставка грузов каким-либо видом транспорта, как правило, приводит к нарушению четкого взаимодействия между отдельными звеньями логистической цепи и нормального ритма работы грузополучателя. В свою очередь наличие в логистической сети смешанных перевозок приводит к увеличению объемов различных вспомогательных операций, влияющих на качество перевозки. Прежде всего, это касается операций, относящихся к креплению грузов. В современных условиях вопросы, связанные с совершенствованием технологий крепления грузов, приобрели особую актуальность именно в связи с проблемой обеспечения быстрой и сохранной перевозки грузов.

В Морском государственном университете им. адм. Г.И. Невельского авторами выполнены комплексные исследования и разработаны новые технологии крепления грузов на морских судах [1, 2]. Основными исходными положениями при разработке новых технологий является регулирование смещаемости грузов с использованием пневморегуляторов. При этом избыточное давление воздуха внутри пневморегулятора должно удовлетворять определенным требованиям, соответствующим заданному условию регулирования смещаемости определенного вида груза. Для автоматического слежения за состоянием груза и поддержания необходимых параметров крепежных устройств была разработана математическая модель механической системы «смещающийся груз-специустройство». В качестве теоретического аппарата для математического моделирования было предложено использовать теорию графов. При этом возникла необходимость разработать теоретическую модель, описывающую процесс смещения груза на палубе судна, с использованием трех элементов: массы, упругого и диссипативного элементов.

По механической модели смещения все виды смещающихся грузов условно можно разделить на три группы: абсолютно твердое тело (контейнеры, ролл-трейлеры, крупногабаритные и другие, так называемые, грузовые места); сплошная связно-сыпучая среда (навалочные и зерновые); дискретная структура (пакеты, металлопрокат, чугун в чушках, металлолом и др.). Грузы близкие к состоянию абсолютно твердого тела, находятся на транспортном модуле под действием сил, не зависящих от свойств самого груза. В статических условиях твердые грузы обладают постоянной формой и на горизонтальной плоскости неподвижны. В противоположность этому, грузы, при укладке которых на транспортном модуле образуются дискретные (составленные из отдельных элементов) структуры – массивы (штабели), могут сохранять выбранную форму на горизонтальной поверхности лишь при определенных условиях. В качестве измерителя способности штабеля структурообразующего груза противостоять смещению применяется угол статической устойчивости структуры – острый угол между горизонтальной плоскостью и наклоняемым основанием структуры в момент начала ее разрушения в любой форме: опрокидывания, соскальзывания или потери устойчи-



ности структуры.

Грузы, состоящие из отдельных более или менее крупных и однородных частиц (зерновые и навалочные) занимают промежуточное положение между твердыми и дискретными грузами. Они образуют сплошную связно-сыпучую среду с постоянными или закономерно и непрерывно изменяющимися физическими и механическими свойствами. Обладая ограниченной подвижностью частиц, сохраняют свою форму лишь в том случае, если их частицы находятся под определенным углом к друг другу. Значение этого угла можно использовать в качестве критерия для определения подвижности связно-сыпучих сред. Таким образом, сыпучие грузы можно рассматривать, как частный случай дискретных структур. Их можно представить в виде совокупности одинаковых, не имеющих сцепления, малоразмерных дисков, образующих дискретные структуры – массивы, смещающиеся относительно друг друга. При этом распределение усилий в массиве груза от элемента к элементу происходит через точечные контакты, и поэтому дискретную структуру, в данном случае, следует рассматривать как распорную среду.

Твердые смещающиеся грузы так же могут образовывать на транспортном модуле различные дискретные структуры (штабели) как распорные (штабель труб), так и безраспорные (тарированные грузы). Отличие безраспорной дискретной структуры от распорной состоит в том, что распределение усилий в массиве груза от элемента к элементу происходит через плоскостные контакты, при этом внутри массива груза не возникает распора, за счет которого происходит раздвигание элементов ниже лежащего ряда и внедрение элементов верхнего ряда в ниже расположенный ряд.

Представленные таким образом локальные модели вписываются в глобальную дискретную модель всех смещающихся грузов, состоящую из жестких тел, связанных между собой упругими элементами, допускающими некоторое перемещение тел относительно друг друга, граничными зонами перемещений которых является распорная и безраспорная фазы смещения грузов. Такие системы полностью определяются заданием координат конечного числа тел, составляющих систему, связанных между собой упругими и диссипативными элементами. Поэтому любая система, моделирующая процесс смещения груза при произвольных внешних воздействиях, может рассматриваться как упругая система с конечным числом степеней свободы.

Твердые смещающиеся грузы считаются безраспорными средами, и к ним относятся практически все тарированные грузы. Для построения расчетной схемы такой среды достаточно знать местоположение структурной группы частиц, поскольку их ориентация для ненаклоненного состояния опорной поверхности в любой точке массива груза остается постоянной. В качестве теоретической модели тарированного груза примем абсолютно твердые блоки одинакового размера, соприкасающиеся по всей длине линий контактов. При этих допущениях условия взаимодействия блоков в штабеле не зависят от их длины и задача сводится к плоской, то есть к рассмотрению поперечного сечения штабеля.

В расчетной схеме за структурную группу частиц примем один ряд штабеля (рисунок). Структурные группы представим в виде масс. В первом приближении можно считать, что нижележащие ряды сформированном на транспортном модуле штабеля образуют монолит и не смещаются относительно опорной поверхности, примем их в модели за массу  $M_2$ , опирающуюся на упругий элемент с жесткостью обтягивающего троса  $K_2$ , и диссипативный элемент с коэффициентом вязкого трения  $B_2$ , учитывающие трение между

опорной поверхностью транспортного модуля и дискретной структурой. Масса  $M_1$  верхней структурной группы движется поступательно вдоль оси Z и опирается на регулятор, расположенный между двумя массами. Жесткость  $K_1$  учитывает жесткость упругого элемента ре-

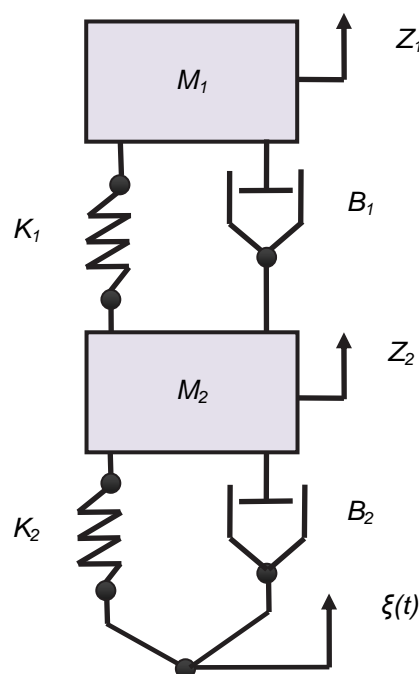


Рисунок – Расчетная модель регулирования смещаемости безраспорной дискретной среды

гулятора, а  $B_i$  коэффициент вязкого трения регулятора. В итоге получаем систему с двумя вертикально движущимися массами.

Однако эта расчетная схема не учитывает возможность смещения структурных групп в нижних рядах дискретной структуры. Поэтому дальнейшая конкретизация расчетной схемы может идти по линии учета возможности смещения этих масс. Поэтому при моделировании в общем виде можно рассматривать поперечное сечение штабеля, состоящее из  $i$ -го количества структурных групп ( $i$  принимает значение равное количеству рядов в сформированном на транспортном модуле штабеля). Под верхней структурной группой располагается терминальный регулятор (вкладная емкость), а по периметру штабеля жесткие соединения, представляющие собой трос. Задача регулятора – поддерживать заданное натяжение троса. Трение между рядами будем учитывать с помощью демпферов, работу регулятор опишем с помощью пружины. Трос представим как элемент с распределенными параметрами упругостью, демпфированием. Таким образом, получим расчетную схему  $n$ -массовой колебательной системы, состоящую из  $n$  поступательно движущихся масс  $M_i$ . Верхняя масса опирается на упругий элемент с жесткостью  $K$ , учитывающий жесткость пневматического регулятора, и диссипативный элемент с коэффициентом вязкого трения, учитывающий сопротивление массы и потери энергии при деформировании регулятора. Остальные массы опираются на диссипативный элемент с коэффициентом вязкого трения  $B_i$ , учитывающем трение, образующиеся между массами.

В выбранной, таким образом, расчетной схеме технической системы, учтены свойства её дискретной структуры, как безраспорной среды. При этом произошла некоторая идеализация ее свойств, упрощение и схематизация. При построении расчетной схемы были использованы такие абстрактные объекты, как абсолютно твердое тело, упругий и диссипативный элементы. При выборе расчетной схемы, исходили из соображений ее максимальной простоты с условием, что интересующая информация не теряется. Разработанная теоретическая модель, регулирования смещаемости дискретной безраспорной среды, позволяет в дальнейшем перейти к аналитической модели [3], выполнить анализ работы терминальных регуляторов на всех возможных режимах нагружения и определить их оптимальные параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Москаленко, А.Д. Морская транспортировка смещающихся грузов / А.Д. Москаленко. -Владивосток: ДВГУ, 1984.
- 2 Маликова, Т.Е. Пневмотехнология обеспечения сохранной и безопасной перевозки штабеля труб на палубе судна / Т.Е. Маликова, А.Д. Москаленко // Эксплуатация мор. трансп. / С.-Петербург. гос. мор. акад. им. адм. С.О. Макарова. -2013. -№1(71). -С. 7-9.
- 3 Маликова, Т.Е. Использование теории графов при разработке математических моделей систем смещающийся груз – спецустройство / Т.Е. Маликова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 39-41.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *смещающийся груз, регулятор, теоретическая модель, система, моделирование, дискретная структура*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Маликова Татьяна Егоровна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА МОРЕ ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ КОРПУСА СУДНА**

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

**А.И. Потутаровский**

**RELIABILITY INCREASE OF THE HULL OF THE VESSEL REMAINS THE MAIN DIRECTION OF SAFETY IN THE SEA**  
 Maritime state university named after G.I.Nevelskoi  
 A.I. Potutarovskiy

Losses of vessels because of accidents and elements continue. The measures providing reliability of hull from loss of buoyancy and stability, effective. Former measures and new devices from soft with use of modern technologies are offered.

*Keywords: losses of vessels, safety at sea, reliability of the hull, efficiency of measures*

Потери судов из-за аварий продолжают. Меры, обеспечивающие надёжность корпуса судна и

предохраняющие от потери плавучести и остойчивости, недостаточно эффективны. Предлагаются прежние меры и новые устройства из мягких оболочек с использованием современных технологий.

Продолжающиеся потери судов Мирового транспортного флота [1] показывают, что эффективность мер, средств и методов обеспечения непотопляемости и аварийной остойчивости судов для сведения их к минимуму остается недостаточной. Аварии судов, явившиеся причиной потерь, были, есть и будут потому, что в основе этого лежит не проходящая способность людей ошибаться (человеческий фактор). Некоторые из аварий не удастся остановить. Происходят катастрофы и гибель судов. Они случаются иногда и из-за действия стихии.

В тяжёлых аварийных ситуациях безопасность людей в море обеспечивается принятием мер и действий по трём основным направлениям:

- 1) повышением надёжности судов (для безопасного базирования людей на аварийном судне);
- 2) спасательными устройствами индивидуальными и коллективными, имеющимися на судах;
- 3) внешней помощью (принятием сигнала бедствия, фиксацией, оповещением, поиском, спасением).

В связи с тем, что в последние годы стали возрастать перевозки опасных грузов, ужесточаться нормы по сохранению окружающей среды, увеличиваться количество судов и возрастать, интенсивность судоходства, а направления 2 и 3 требуют определенных действий спасающихся или спасателей и времени на их реализацию, на главным направлением становится первое. Это происходит еще и потому, что в двух последних есть существенные помехи и недостатки препятствующие обеспечению безопасности спасающихся:

1 Необходимость перемещения их по открытой палубе к коллективному спасательному средству, подготовка его к спуску или сбрасыванию за борт, попадания в спасательное средство, выживания в нем, ожидание помощи. В таком направлении спасения второй путь становится почти полностью зависимым от третьего.

2 В случае внезапного опрокидывания судна действия по второму и третьему направлениям или невозможны, или практически бесполезны.

3 Для малых судов «трудно представить такое (спасательное) средство, которое позволит человеку спастись при внезапном и практически мгновенном опрокидывании небольшого судна» [2]. Действительно, время полупериода бортовой качки судна невелико, а фактически это время его опрокидывания. Для маломерных судов оно исчисляется секундами.

Надо отдать должное разработчикам и энтузиастам этих направлений. За последние четверть века проявлявшиеся в них существенные недостатки уменьшились или совсем исключены:

- 1) значительно, сравнительно с временем гибели судна, уменьшилась длительность приведения в готовность шлюпочного или другого спасательного средства;
- 2) усовершенствовались спусковые устройства (увеличились углы крена судна, при которых можно осуществлять посадку людей в спасательное устройство или его спуск);
- 3) стали более защищёнными от непогоды открытые спасательные шлюпки;
- 4) повысилась остойчивость спасательных средств;
- 5) более совершенными стали разбрасывающие устройства спасательных средств (механические и гидростатические);
- 6) налажен выпуск самовосстанавливающихся спасательных шлюпок закрытого типа различных размеров;
- 7) внедрена в спасательную практику спутниковая система, позволившая начинать оказание помощи уже через 12 ч. Это уменьшило число погибающих в море более чем на 6%;
- 8) появились или проектируются новые типы спасательных средств: капсулы, сбрасываемые шлюпки, отделяющиеся части судов;
- 9) в разных странах на вооружении в качестве спасательных, а затем и рабочих шлюпок на судах и береговых станциях внедрена комбинированная жестко-надувная лодка. Корпус из пластика, борта надувные. Она имеет уникально большую непотопляемость. В случае опрокидывания – само восстанавливается. Это практически непотопляемое судно находится в контексте не только второго, но и первого направления.

Задачей статьи является показ пути, выбор мер, средств и методов повышения надёжности корпуса судна, оказавшегося в аварийной ситуации, поиск защиты против действий

стихии.

Целью является разработка мер и средств, повышающих уровень непотопляемости и живучести, а также предотвращающих опрокидывание судов, в том числе внезапное.

Для решения поставленных задач использованы теория корабля, гидромеханика и современное материаловедение.

Ниже приведем анализ мер и средств, использовавшихся нашими предшественниками десятки, сотни и тысячу лет назад.

Одним из первых средств повышения плавучести и остойчивости острокилеватых речных лодок казаков для хождения по морю можно назвать пучки сухого камыша. Они привязывались к бортам лодки снаружи в надводной части. При качке пучки накрываемого борта входили в воду и создавали дополнительный восстанавливающий момент, уменьшающий крен и препятствующий опрокидыванию лодки

$$M = PL, \quad (1)$$

где  $P$  – сила плавучести погруженных частей пучков одного борта;

$L$  – плечо восстанавливающего момента, то есть расстояние от геометрического центра погруженной части плавучих элементов до линии действия силы тяжести судна.

Еще в большей степени остойчивость лодки повышалась при креплении пучков к деревянной раме, устанавливаемой на лодке. На дооборудованных таким образом лодках казаки ходили по Черному морю для завоевания Царьграда. Плечо восстанавливающего момента увеличивалось за счет рамы. Оно становилось равным

$$L = \frac{B_{\text{рамы}}}{2},$$

где  $B_{\text{рамы}}$  – ширина рамы, большая ширины лодки.

Соответственно становился больше и восстанавливающий момент. Вооруженная таким образом лодка напоминала севшую на воду чайку с расправленными крыльями. Их и называли чайками. По современной терминологии лодка превращалась в тримаран. Восстанавливающий момент такого судна оказывался значительно больше восстанавливающего момента основного корпуса, то есть самой лодки. В постоянной эксплуатации эти суда неудобны, создают определенные сложности.

Два с половиной столетия назад появилась возможность развития средств спасения по второму и третьему направлениям. Изобретались лодки спасательного назначения, устанавливаемые на судах и береговых спасательных станциях. Им, в силу необходимости обеспечения максимально возможной безопасности спасаемых, требовалась максимально высокая надежность. Опыт создания и эксплуатации таких судов продолжает накапливаться и проверяться. Его вполне можно использовать для обеспечения надежности и более крупных судов современных конструкций, ориентируясь на новые материалы и технологии их применения.

Известно, что лодки и шлюпки имеют меньшие запасы плавучести и остойчивости и поэтому более уязвимы в случае аварии. Лодкам спасательного назначения приходится работать в экстремальных условиях. Для первых – это открытое море, для вторых – чаще всего высокие крутые волны вблизи побережья и на мелководьях. И те и другие подвержены ввиду своих небольших размеров наиболее опасному для жизни людей риску внезапного опрокидывания (рисунок 1).

Также опасно заливание открытой шлюпки водой. Запас плавучести определяемый высотой надводного борта из-за увеличения массы судна от принятой воды быстро уменьшается с увеличением осадки. Кроме того, увеличивается опасность опрокидывания из-за наличия свободной поверхности воды.

Вопрос потери плавучести маломерных судов был решен кардинальным образом. Лод-

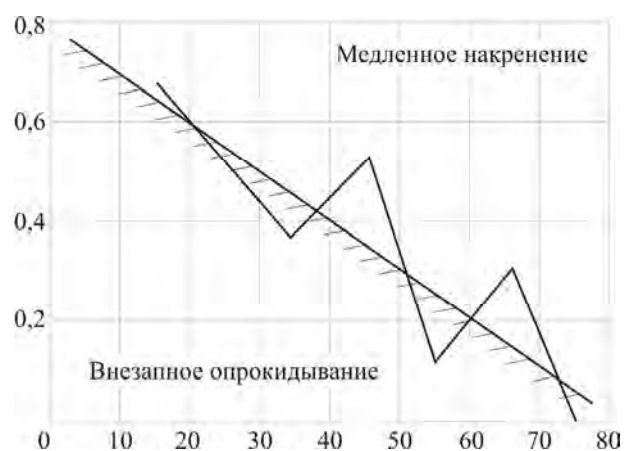


Рисунок 1 – Изменение риска внезапного опрокидывания в зависимости от размера судна

ка должна снабжаться объемными водоизмещающими водонепроницаемыми конструкциями постоянно во все время своей эксплуатации. Она должна обладать положительной плавучестью в полностью залитом состоянии с оборудованием и спасаемыми на борту. Современные правила Классификационных обществ трактуют это однозначно [3, 4].

Повышение остойчивости спасательных судов претерпело более долгий путь. Первоначально, ещё в XVII в. спасательные лодки снабжались массивным металлическим килем. Масса судна за счет этого возрастала. Соответственно возрастала и сила плавучести. Центр тяжести смещался к днищу лодки. Центр плавучести от увеличения осадки соответственно перемещался вверх. За счет этого плечо статической остойчивости становилось больше. Возрастал и восстанавливающий момент согласно (1). В связи с тем, что не удавалось создать абсолютно остойчивую лодку, стали создавать лодки с эффектом самовосстановления. С 1900 г. такие лодки применяются в странах Европы. Первоначально они имели массивный металлический киль, водяной балласт, балластные цистерны в днище и борту, поднятые воздушные ящики в носу и корме. Количество людей, погибших за несколько десятилетий при опрокидывании спасательных самовосстанавливающихся лодок, было более чем в два раза меньше обычных [2], а эффективность, соответственно, во столько же раз больше. Еще больший спасательный эффект дали самовосстанавливающиеся шлюпки закрытого типа. Мягкооболочечное закрытие не удовлетворяло всем эксплуатационным требованиям. Оно было заменено жёстким, что способствовало существенному повышению остойчивости, особенно на больших углах крена и уменьшению вероятности заливания. В настоящее время спасательные самовосстанавливающиеся шлюпки закрытого типа оказались особенно эффективными на танкерах, так как способны защитить людей и от горящих на воде углеводородов.

Попытки уменьшить вес лодок заменой оборудования для активного самовосстановления на легкие объемные материалы и введением, тем самым, пассивного метода, привели к замедлению возвращения лодки в нормальное положение и усугублению положения спасающихся.

Специалисты и исследователи проблемы безопасности людей на море четверть века назад не знали, как гарантированно обеспечить гарантированно сохранение жизни людей при опрокидывании судов. Единственным путем представлялось наделение судов эффектом самовосстановления. Но суда с таким качеством – это суда специального назначения – спасательные. Они оборудуются соответствующим образом. Малым судам не спасательного назначения более подходит пожелание «не дать судну опрокинуться». В МГУ им. адм. Г.И. Невельского в школе мягких оболочек был разработан метод сохранения судна на плаву путем экстренного повышения остойчивости в процессе опрокидывания.

Для разработки устройств, могущих предотвратить внезапное опрокидывание судов, опишем механизмы опрокидывания и выясним его причины. Воспользуемся диаграммой качки и опрокидывания модели судна (рисунок 2) [2]. С некоторыми пояснениями и дополнениями.

Обнаружено, что нарастание амплитуд качки согласно построенных линий, аппроксимирующих их максимальные величины и на левый, и на правый борт, описывается прямыми линиями. Когда период качки модели судна совпадает с периодом вынуждающей силы (волны, ветра), модель испытывает резонансную качку, приводящую к её опрокидыванию. Так как при резонансной качке реакцией судна на динамические воздействия является

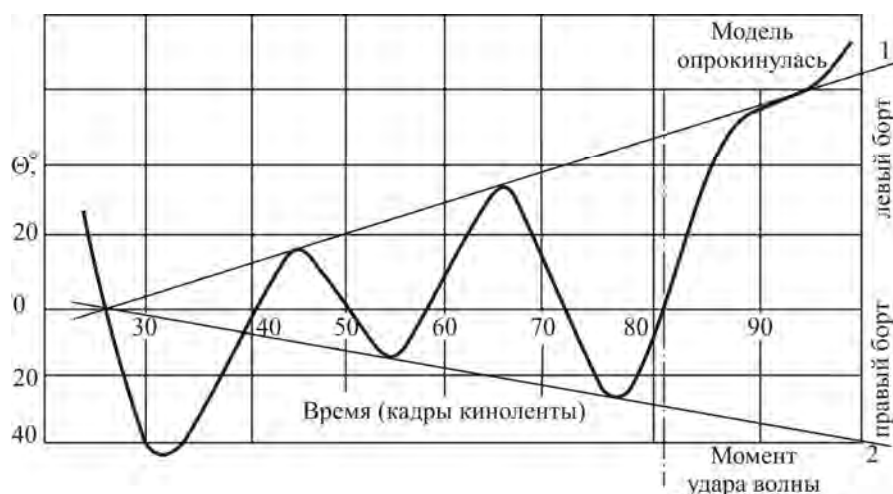


Рисунок 2 – Запись качки и опрокидывания модели: 1- аппроксимирующая линия максимальных амплитуд качки левого борта; 2- линия максимальных амплитуд качки правого борта

прямыми линиями. Когда период качки модели судна совпадает с периодом вынуждающей силы (волны, ветра), модель испытывает резонансную качку, приводящую к её опрокидыванию. Так как при резонансной качке реакцией судна на динамические воздействия является

сохранение в диапазоне наклонений амплитудного значения угловой скорости, то ускорения при каждом очередном наклонении отличаются друг от друга. Нарастание угла крена замедляется. Датчики ускорений, разработанные украинскими учеными, позволяют определять момент опрокидывания судна. Но, находящиеся на судне люди, за время исчисляемое секундами, не в состоянии предпринять действенных мер для предотвращения надвигающейся катастрофы. Необходимо устройство, изменяющее период собственных наклонений судна и работающее в автоматическом режиме. Это может быть сделано (и делается) с помощью расположенных на поверхности корпуса или выдвижных килей или за счет изменения формы корпуса, например, с помощью надувных мягкооболочечных ёмкостей, надувающихся за бортом, по принципу автомобильных подушек безопасности.

Второй причиной опрокидывания маломерных судов можно назвать действие высоких прибрежных волн. Судно, оказавшееся на крутом склоне формирующейся волны, поднимается к гребню, все более и более наклоняясь по отношению к горизонту. В то же время на лодки действуют силы инерции и веса направленные к подошве. Увеличение угла крена по отношению к горизонту до  $90^\circ$  вызовет переворачивание лодки. как В действительности суда, а маломерные, как правило, опрокидываются из-за ухода одного борта под воду при меньших углах крена. Никакие добавочные водоизмещающие элементы за бортом не дадут дополнительных восстанавливающих моментов, потому, что плечо восстанавливающего момента, а следовательно и сам момент будут равны нулю. Чтобы лодка, попавшая в такую ситуацию, не опрокинулась, необходимо уменьшить или прекратить выход из воды более высокого при крене борта. Конструктивными элементами, предназначенными для этого можно назвать водяные карманы на днищах надувных плотов или мешок Гивенса (мягкооболочечная полусфера под днищем пловца с отверстиями). В МГУ им. адм. Г.И. Невельского была разработана более эффективная конструкция, позволяющая «держаться за воду». Устройство было проверено с помощью лабораторных моделей и натуральных образцов на акваториях Уссурийского и Амурского заливов под Владивостоком и стало изобретением. Крупным судам воздействие таких волн практически не угрожает, так как их размеры существенно превышают размеры волны такого типа.

Третьей причиной опрокидывания относительно легких и небольших судов, а также надувных плотов может быть порыв ветра (шквал) (рисунок 3).

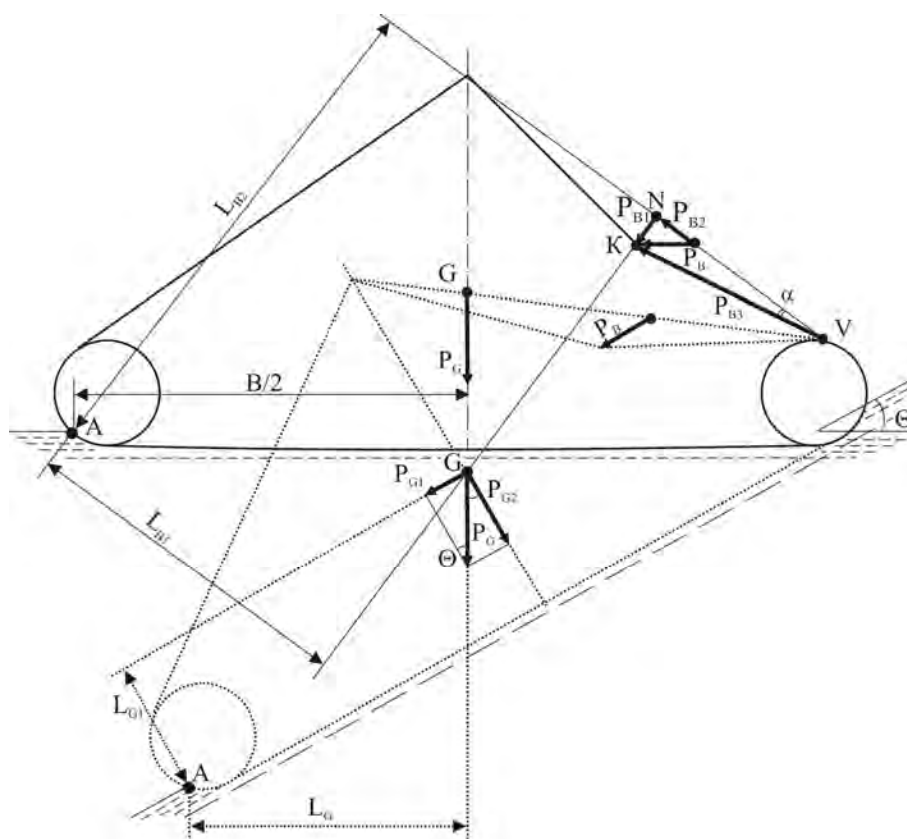


Рисунок 3 – Действующие на плот силы и плечи их моментов относительно оси опрокидывания (точка А)

Воздействуя на мягкооболочечную крышу пюта, обычно шатрового типа, прикрепленную к верхней части надувного борта, ветер силой  $P_e$  проминает ее в средней части. Разложим эту силу на две составляющие:  $P_{e1}$ , направленную перпендикулярно недеформированной поверхности шатра и  $P_{e2}$ , создающую момент силы  $M_{e2} = P_{e2}L_{e2}$ , участвующий в опрокидывании пюта. Силу  $P_{e3}$ , определим из треугольника KNV как  $P_{e3} = P_{e1}/\sin\alpha$ . Она в виде растягивающего усилия в оболочке шатра направлена от баллона к прогнутой его части. В связи с малостью угла  $\alpha$  в первый момент действия эта сила достигает значительной величины и из-за деформируемости конструкции пюта, приподнимает баллон. Ввиду малости осадки пюта и его веса воздушный клин между нижней наружной поверхностью бортового баллона цилиндрической формы и поверхностью воды до действия шквала преобразуется в ветровой клин, создающий давление на днищевую часть баллона и днища. Опрокидывающий момент от воздействия этого давления значителен, так как его плечо фактически равно ширине пюта. Препятствовать опрокидыванию на начальном этапе будет момент  $M_{e1} = P_{e1}L_{e1}$ , вес пюта  $P_G$ , создающий момент  $M_G = P_G B/2$ , а также уменьшающаяся присоединенная масса воды до момента полного его выхода из воды. Волнение увеличивает опасность опрокидывания. При нахождении пюта на волновом склоне (пюта показан на рисунке 3 точками) и том же воздействии шквала плечо восстанавливающего момента от силы веса уменьшается  $L_G = B/2$ . Дополнительно к этому при разложении  $P_G$  на две составляющие часть веса  $P_{G1}$  создает дополнительный опрокидывающий момент. Из сказанного следует:

- 1 Пюта должен иметь, возможно, меньшую высоту;
- 2 Находящиеся на пюте люди должны располагаться равномерно и как можно ближе к бортам пюта. Для исключения свободного перемещения внутри пюта каждому спасаемому должно быть предусмотрено крепежное устройство (пояс).
- 3 Конструкция и форма бортового баллона должна исключить формирование и действие ветрового клина между бортом и поверхностью воды;
- 4 Водяные карманы – выполняться по всему периметру бортового баллона как можно ближе к его наружной поверхности.

Из теории корабля известно, что с увеличением угла крена после достижения максимума диаграммы статической остойчивости уменьшается плечо восстанавливающего момента и сам момент. Ветер и волны негативным образом влияют и на остойчивость, и на людей. Качка ухудшает работу и механизмов. Успокоители качки, ограничивая углы крена, «держат» восстанавливающий момент на достаточном уровне и ограничивают возможность опрокидывания. Успокоители независимо от типа имеют недостатки не позволяющие использовать их на небольших судах. На этих судах предлагается использовать мягкооболочечные устройства пассивного типа. Силы, противодействующие накрениению судна, при использовании этих устройств определяются воздействием воды.

Таким образом, в статье проанализирован многолетний опыт эксплуатации маломерных и спасательных судов. С помощью описанных механизмов опрокидывания судов и пютов оценены действующие на них силы и моменты, выявлены причины этих катастроф. Показано, что предотвратить опрокидывание, повысить надежность корпуса судна, улучшить его качества можно. Для этого необходимо изменять характеристики корпуса. Перспективным в этом направлении представляется использование специальных устройств из мягких оболочек, являющихся штатными конструкциями судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Потутаровский, А.И. Анализ изменения годовых потерь судов мирового транспортного фюта и меры по их уменьшению в прошлом, настоящем и будущем / А.И. Потутаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№2. -С. 179-184.
- 2 Александров, М.Н. Безопасность человека на море / М.Н. Александров. -Л.: Судостроение, 1983. -208 с.
- 3 Правила классификации и постройки прогулочных судов (НД №2-020101-071) / Рос. мор. регистр судоходства. -СПб., 2012. -343 с.
- 4 Правила классификации и постройки малых прогулочных судов (НД №2-020101-058) / Рос. мор. регистр судоходства. -СПб., 2009. -343 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *потери судов, безопасность на море, надёжность корпуса, эффективность мер*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Потутаровский Анатолий Иванович, заведующий лабораторией ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО GNSS-ПРИЁМНИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ СУДОВЫМ GPS-ПРИЁМНИКОМ

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

В.А. Кац, Ю.А. Комаровский

USING GEODESIC GNSS RECEIVER FOR ESTIMATING PRECISION OF THE SHIP'S SPEED OBTAINED BY AN ON-BOARD GPS RECEIVER

Maritime state university named after G.I. Nevelskoi

V.A. Katz, Yu.A. Komarovskiy

We have analyzed errors in measurements of the absolute speed (speed over the ground) obtained by using GPS receiver GP-37. Precision of the GP-37 measurements was estimated by comparing its results with those of geodesic GPS receiver Leica GPS 1220GG making concurrent measurements on board of a ferryboat cruising in the Sea of Japan. The difference in the absolute speed values concurrently obtained by both receivers was selected as the error value estimate. The analysis of the obtained data showed that the mean error values were  $-0,00054$  m/s and  $0,0082$  m/s given the values of the sample correlation coefficients for the absolute speed as  $0,937$  and  $0,933$ , respectively. Histograms of the empirical probability densities for the difference in the absolute speed values corresponded to uni-modal symmetrical distributions. We have offered recommendations on improvements of the described method for estimating precision of the absolute speed measurements obtained using ships' on-board GPS receivers.

*Keywords: GNSS-receiver, speed over ground, error of speed*

Выполнен анализ погрешностей GPS-приёмника GP-37, когда он используется в качестве измерителя абсолютной скорости судна. Точность работы приёмника GP-37 оценивалась сравнением с параллельно работающим геодезическим приёмником Leica GPS 1220GG во время рейса грузопассажирского парома в Японском море. В качестве показателя точности была выбрана разность текущих отсчётов абсолютных скоростей приёмников. Расчёты показали, что средние разности скоростей принимали значения  $-0,00054$  м/с и  $0,0082$  м/с при значениях выборочных коэффициентов корреляции величин скоростей  $0,937$  и  $0,933$  соответственно. Гистограммы эмпирических плотностей вероятностей разностей скоростей представляют собой унимодальные симметричные распределения. Сформулированы рекомендации по совершенствованию данного способа оценки точности работы судовых GPS-приёмников в качестве измерителей скорости.

Судовой приёмник спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS в настоящее время используется главным образом в качестве источника высокоточных обсервованных координат. Приёмник способен также измерять элементы вектора абсолютной скорости. Их принято обозначать COG (Course Over Ground) – путевой угол и SOG (Speed Over Ground) – абсолютная скорость. Как измеритель скорости судна, GPS-приёмник намного эффективнее традиционного судового лага. Его цена в несколько раз ниже цены корреляционного лага и тем более ниже цены абсолютного акустического лага. Установка GPS-приёмника на судне не требует постановки судна в док, не требует корпусных работ в подводной части судна, прокладки кабельных трасс и дорогостоящих монтажных работ. На работу GPS-приёмника, как измерителя скорости судна, не влияют такие факторы, как обростание подводной части корпуса, коррозия, не сказываются солёность и температура забортной воды, а также не создаёт угрозу плавающий лёд. У судовых лагов есть ещё один немаловажный недостаток, превращающий эти приборы в бесполезные. Недостаток заключается в необходимости определения поправок лага на всех ступенях хода и постоянного контроля штурманами величин этих поправок. Как показывает практика последних лет, поправки лага на судах определяются в лучшем случае после ремонта во время запланированных ходовых испытаний. Непрерывного контроля во время рейсов штурманами, как правило, не ведётся.

Несмотря на все преимущества GPS-приёмников, быть достойной заменой судового лага ему не позволяет отсутствие до сих пор апробированных методов оценки его точности измерения скорости. Предлагаемая статья имеет цель восполнить этот пробел в эксплуатации судовых GPS-приёмников.

В работе [1] рассмотрен способ определения точности измерения скорости судна штатным GPS-приёмником с помощью дополнительного приёмника, точность которого заведомо выше. В данной статье исследуется такой способ. Здесь сравниваются результаты синхронных записей величин элементов векторов абсолютных скоростей судового GPS-приёмника GP-37, изготовленного компанией Furuno, и геодезического GNSS-приёмника, изготовленного компанией Leica. Записи были получены в ходе экспериментальных наблюдений на па-



роме «Бригадир Ришко» 5 сентября 2008 года, когда паром совершал рейс в Амурском заливе залива Петра Великого из бухты Золотой Рог Владивостока в бухту Западная острова Попова и обратно. Условно эталонным датчиком элементов вектора абсолютной скорости парома в данном эксперименте служил геодезический GNSS-приёмник GPS 1220GG компании Leica (заводской номер 469724), изготовленный в 2008 году. Буквы GG означают, что данный приёмник работает одновременно по сигналам СРНС Навстар GPS и ГЛОНАСС. Во время эксперимента GPS 1220GG непрерывно принимал сигналы этих СРНС. Приёмник GP-37 работал в дифференциальном режиме, автоматически принимая дифференциальные поправки DGPS-станции мыса Поворотного залива Находка. Данные от приёмников в виде предложений в формате NMEA 0183 автоматически каждую секунду записывались на жёсткий диск ноутбука. С выхода приёмника GP-37 величины COG и SOG выводились с разрядностью 0,1 градуса и 0,1 узла. Приёмник GPS 1220GG транслировал COG и SOG с разрядностью 0,01 градуса и 0,01 км/ч. Расстояние между антеннами приёмников было равно 1 м.

В работе [2] показано, что место установки на судне антенны GPS-приёмника влияет на величины измеряемых элементов вектора абсолютной скорости. Поэтому для анализа из всего множества накопленных данных эксперимента были сформированы два массива, соответствующих движению парома вдоль северо-западных берегов острова Русский и острова Попова от острова Уши до мыса Низменного. На этих переходах курсы парома изменялись главным образом вследствие рыскания на курсе. Рулевые поддерживали курс по магнитному компасу. Графики изменения COG парома в выбранных массивах можно видеть на рисунках 1 и 2.

Если сравнить рисунки 1 и 2, то можно утверждать, что не всегда рулевые парома стремились с большой точностью удерживать судно на курсе. Поэтому возникает необходимость проверки предположения о влиянии зафиксированных рысканий на курсе на отличие между измеренными приёмниками значениями SOG. Если судно следует неизменным курсом, то каждый приёмник отображает ту скорость, которую он способен измерить. Тогда будет корректным сравнение скоростей. В противном случае появится погрешность сравнения из-за рыскания.

Чтобы проверить отсутствие влияния, для перехода из Владивостока на о. Попова были вычислены изменения COG в градусах за секунду приёмника GPS 1220GG и соответствующие им разности SOG приёмников. Результаты вычислений представлены на рисунке 3.

Анализ рисунка 3 не позволяет утверждать присутствие предполагаемой зависимости. Выборочный коэффици-

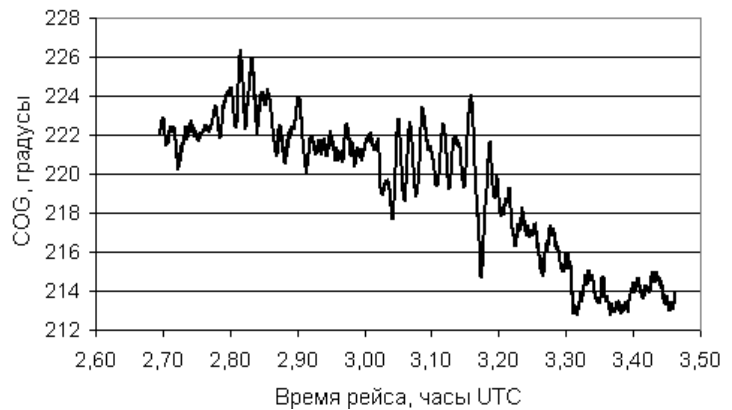


Рисунок 1 – График изменения COG при движении на о. Попова



Рисунок 2 – График изменения COG при возвращении во Владивосток

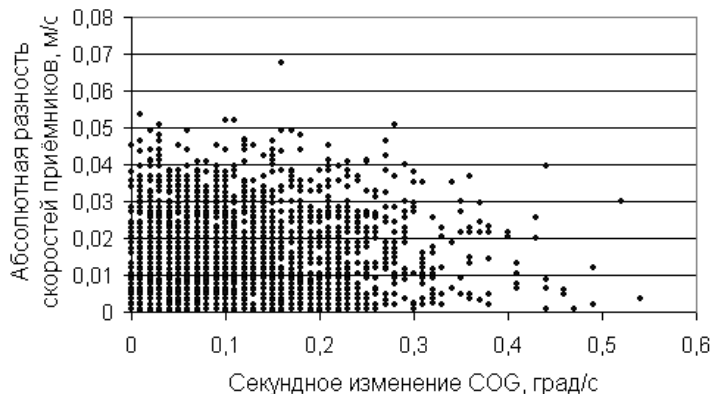


Рисунок 3 – Зависимость разности скоростей от скорости изменения COG

ент корреляции между абсолютной разностью измеренных скоростей и соответствующей ей угловой скоростью изменения COG получился равным – 0,0035. Такая величина коэффициента корреляции не может быть принята в качестве показателя существования статистической связи. Следовательно, влияние рыскания на курсе можно не учитывать для дальнейшего анализа.

Пусть  $\Delta v_i$  будет обозначать разность в м/с между значениями абсолютной скорости приёмника Leica и приёмником GP-37 в  $i$ -тый момент времени

$$\Delta v_i = \text{SOG}_{Li} - \text{SOG}_{Gi}.$$

Пусть оба приёмника обладают одинаковой чувствительностью к изменению скорости носителя, а измеряемые ими величины абсолютных скоростей содержат случайные погрешности, обладающие свойствами, сформулированными в работе [3]. Тогда при  $n \rightarrow \infty$  средняя разность  $\text{SOG } \Delta v_{CP}$  и среднее квадратическое отклонение (СКО) разности между значениями абсолютных скоростей  $\sigma_{\Delta}$

$$\Delta v_{CP} = \sum_{i=1}^n \Delta v_i \rightarrow k; \quad \sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta v_i - \Delta v_{CP})^2}{n}} \rightarrow p,$$

где  $k$  – некая постоянная величина, которая при неизменном ходе судна не будет равна 0, если имеет место поправка у приёмника GP-37, или равна 0, если оба приёмника имеют одинаковые поправки;  $p > 0$  всегда.

Так как априори принимается заведомо более высокая точность работы GPS 1220GG, то в случае  $k = 0$  для данного хода судна у приёмника GP-37 поправка (систематическая погрешность) отсутствует.

Для дальнейшего анализа были рассчитаны  $\Delta v_i$  по данным, собранным на переходе Владивосток-Попов и на переходе Попов-Владивосток. Это позволило сделать предварительную оценку свойств разности между значениями абсолютных скоростей приёмников с помощью гистограмм распределения случайной величины  $\Delta v_i$ . В качестве примера на рисунке 4 представлена гистограмма распределения  $\Delta v_i$  на переходе Владивосток-Попова.

На гистограмме рисунка 4 можно видеть проявление унимодального и симметричного эмпирического дифференциального закона распределения  $\Delta v_i$  как случайной величины. Главный вывод из анализа гистограммы заключается в том, что среднее значение распределения совпадает с максимальной частотой, которая соответствует нулевому значению разности скоростей. В таблицу помещены результаты вычислений характеристик распределений  $\Delta v_i$  на переходах Владивосток-Попова (В-П) и Попова-Владивосток (П-В).

Как следует из таблицы, средние разности скоростей  $\Delta v_{CP}$  отличаются на 0,00765 м/с. На переходе Попова-Владивосток средняя разность скоростей не приблизилась к нулю так, как это установлено для перехода Владивосток-Попова. Объяснить слишком большую разницу  $\Delta v_{CP}$  невозможно незначительно меньшим (на 5%) объёмом выборки, полученным на переходе Попова-Владивосток. При этом СКО выборки практически одинаковы, а размах варьирования разностей скоростей больше на 0,0125 м/с на переходе Попова-Владивосток.

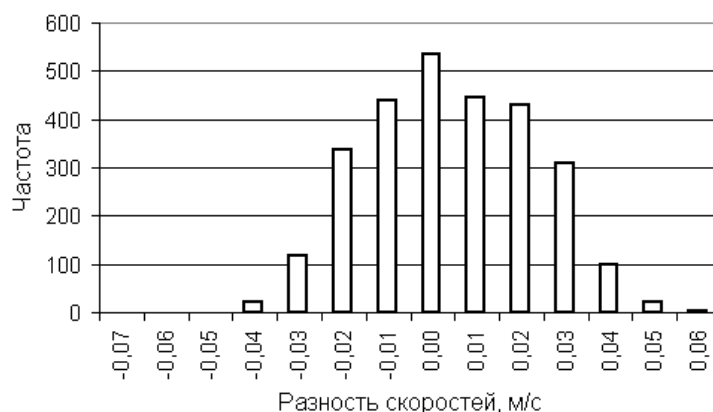


Рисунок 4 – Гистограмма распределения разности скоростей

Таблица – Показатели распределения разности скоростей

Характеристика	В-П	П-В
Средняя разность, м/с	-0,00054	0,00819
Средняя разность, узлы	-0,0011	0,0159
СКО, м/с	0,01877	0,01972
Минимальная разность, м/с	-0,0674	-0,0648
Максимальная разность, м/с	0,05358	0,06865
Объём выборки	2762	2616

Можно предположить, что на работу приёмников по-разному влияет расположение спутников рабочих созвездий. Кроме того, у геодезического приёмника GPS 1220GG угол отсечки спутников гораздо больше, нежели у судового приёмника GP-37. По этой причине сходимость  $\Delta v_{CP}$  к нулю могла замедлиться.

Другим важным показателем точности измерения абсолютной скорости приёмником GP-37 служит теснота статистической связи с отсчётами скорости приёмника GPS 1220GG. О том, насколько величины  $SOG_{Li}$  и  $SOG_{Gi}$  статистически зависимы, можно судить по рисунку 5. В первом приближении можно считать, что на нём проявляется линейная регрессионная зависимость скоростей. Для отсчётов абсолютной скорости приёмником GP-37 в диапазоне от 8,4 уз до 9,0 уз скорости приёмниками измеряются практически одинаково.

Для указанного диапазона измеренных приёмником GP-37 абсолютных скоростей получено следующее регрессионное выражение

$$SOG_L = 0,4554 + 0,8984 SOG_G, \text{ м/с.}$$

здесь величины  $SOG_L$  и  $SOG_G$  имеют размерность м/с.

В полученном выражении отличие свободного члена от 4,30, а также отличие от единицы коэффициента при  $SOG_G$  можно объяснить, во-первых, сравнительно высокой дисперсией величин скоростей относительно регрессионного тренда, во-вторых, неодинаковым количеством наблюдений по каждому значению абсолютной скорости приёмника GP-37, в-третьих, различием разрядностей измерения скорости. Поэтому выборочные коэффициенты корреляции скоростей на переходе Владивосток-Попова и Попова-Владивосток были равными 0,937 и 0,933 соответственно.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы и предложения:

1 Рассмотренный способ оценки точности измерения скорости судовыми приёмниками спутниковых радионавигационных систем прост и не требует маневрирования на мерных линиях. Работы по определению поправок можно выполнять непосредственно в рейсе или во время ходовых испытаний после ремонта. Способ легко автоматизируется и не требует создания дополнительной аппаратуры.

2 Для повышения точности получения поправок необходимо во время измерений более точно удерживать судно на курсе.

3 При выполнении работ по определению поправок судового GNSS-приёмника как измерителя скорости с использованием высокоточных геодезических приёмников рекомендуется держаться на таком расстоянии от берега, при котором рельеф суши не создаёт угол отсечки спутников более  $5^\circ$ .

4 Следует увеличить разрядность измеряемой абсолютной скорости в новых судовых GNSS-приёмниках до 0,01 узла.

5 Необходимо продолжить исследования данного способа оценки точности измерения скорости, чтобы выяснить влияние конфигурации текущего рабочего созвездия спутников, а также определить необходимую и достаточную продолжительность наблюдений для получения достоверных величин поправок.

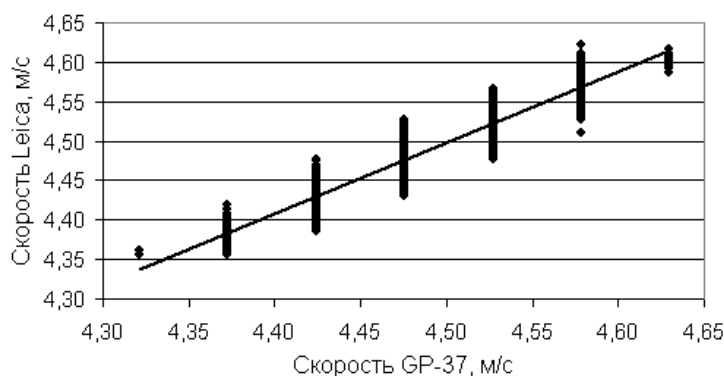


Рисунок 5 – Корреляционная зависимость абсолютных скоростей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Комаровский, Ю.А. Анализ проблемы оценки точности измерения скорости судовым GPS-приёмником / Ю.А. Комаровский // Трансп. дело России. -2005. -№3, спец. вып. -С. 103-108.  
 2 Комаровский, Ю.А. Влияние места установки антенны GPS-приёмника на вектор абсолютной скорости судна при изменении курса / Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 164-168.  
 3 Колмогоров, А.Н. К обоснованию метода наименьших квадратов / А.Н. Колмогоров // Успехи мат. наук. -1946. -Т.1, вып.1(11). -С. 57-70.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: GNSS-приёмник, абсолютная скорость, погрешность скорости  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кац Владимир Александрович, инженер ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК НА БАЗЕ Z-СТРУКТУР

ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

Н.В. Калитёнков, В.И. Милкин, В.А. Лебедев, А.Е. Шульженко

### SPECIAL FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF THE PHASED ANTENNA LATTICES ON THE BASE OF THE Z-STRUCTURES

Murmansk state technical university

N.V. Kalitenkov, V.I. Milkin, V.A. Lebedev, A.E. Shulzhenko

Innovative approaches to creating array antennas for receiving radio signals of television, including digital is proposed. Phased-array antenna based on the Z-elements have enhanced performance. This expands the perspective of its applied applications.

Keywords: radiocommunication, array antennas, Z-element, applied applications, digital television

Предложены инновационные подходы к созданию антенных решеток для целей приема радиосигналов телевидения, в том числе и цифрового. Фазированные антенные решетки, изготовленные на базе Z-элементов, обладают улучшенными основными характеристиками, что расширяет перспективу их прикладного использования.

Рассмотрим инновационное решение создания антенной решетки, представляющей собой симбиоз антенной системы полупабриката из антенн Уда-Яги и дополнительных элементов из «самодостаточных» Z-антенн. Зигзагообразная моноантенна обладает диаграммой направленности с осевой направленностью излучения в широком диапазоне частот. Антенна обладает возможностью симметричного подключения, с возможностью питания от несимметричного коаксиального фидера. При изменении расстояния между полотном антенны из Z-элементов и рефлектором обеспечивается возможность одновременного маневрирования величиной коэффициента стоячей волны и коэффициента усиления. Используя эти свойства и свойства комплекса антенн фазированной решетки из разрезных вибраторов с логопериодическими структурами директоров, приходим к фазированной антенной решетке с более высокими основными электрическими параметрами. В качестве примера реализации инновационного предложения ниже представлена антенна телевизионная комбинированная широкополосная, содержащая линейно расположенные по высоте директорные антенны с разрезными активными вибраторами. Вибраторы электрически подсоединены к двухпроводной соединительной линии с центральным элементом в виде полной зигзагообразной антенны, включенной в антенную фазированную решетку. Схематическая модель, предлагаемой версии антенны, используемой для компьютерного моделирования, представлена на рисунке 1.

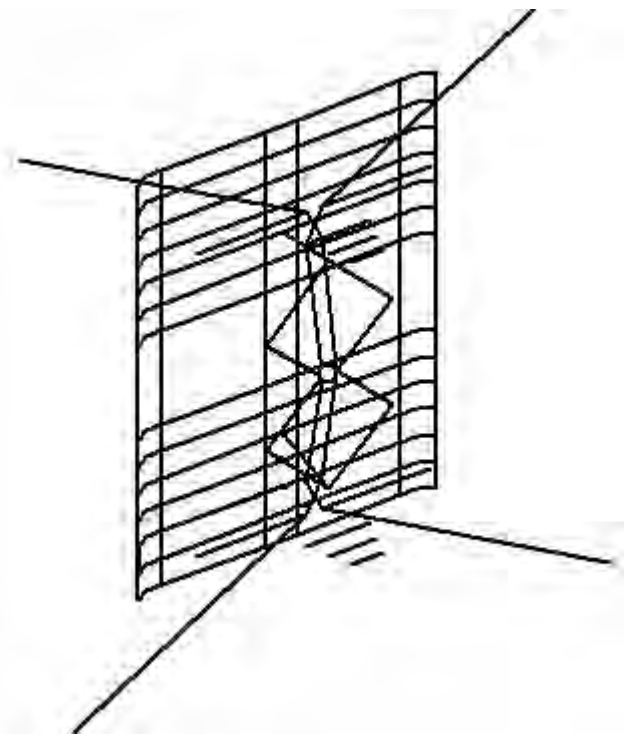


Рисунок 1 – Схематическая модель предлагаемой версии антенны

Полученные при моделировании результаты, как видим, выгодно отличают новое техническое решение от широко тиражируемых аналогов. Прежде всего, на основных частотах антенна имеет соизмеримые по диапазону параметры направленности, в то же время у рас-

смагриваемого образца в десятки раз уменьшилась величина и сократился разброс реактивной составляющей входного сопротивления антенны и в сотни раз уменьшился КСВ. Это обеспечило нормальную работу антенны на линию без ШАУ. Последнее наглядно следует из диаграмм направленности и данных об основных электрических параметрах антенны, представленных на рисунке 2 и в таблице 1.

Следующее инновационное предложение рассмотрим на примере, когда вместо комбинированного использования Z-элементов в системе решетки из директорных антенн рассматривается линейная решетка только из Z-элементов. Ранее предлагалось [1] техническое решение многоэтажной антенны, состоящей из четырех квадратных звеньев для использования в диапазоне 6-12 каналов, а также для диапазона ДМВ. По диапазонности заявленная конструкция ограничивает использование антенны в рассматриваемой полосе радиочастот. Последующие теоретические расчеты, компьютерное моделирование и анализ параметров решеток с применением Z-элементов позволил выработать новый подход к созданию линейных фазированных решеток этого типа. Исследовались свойства решетки в зависимости от этажности, в зависимости от степени раздвижки полотнов Z-антенн вдоль оси с сохранением симметричности расположения по вертикали относительно центральной точки антенны, где расположен узел питания, в зависимости от количества наращиваемых элементов. При этом полуполотна зигзагообразных антенн подключались к узлу питания индивидуальными двухпроводными линиями, а подключение фазированной антенной решетки осуществлялось как симметричным включением, так и, подобно включению классических Z-антенн, через центральную зигзагообразную антенну с использованием коаксиального фидера.

Результаты компьютерного моделирования одной из версий антенной решетки, когда основное Z-полотно расположено в центре, а дополнительное расположено с раздвижкой в соответствии со схематическим представлением, отображенным на рисунке 3, так же выгодно выделяют новое техническое решение в сравнении с широко тиражируемыми и ранее рассмотренными аналогами. Это следует из анализа диаграмм направленностей, представленных на рисунке 4 и данных об основных электрических параметрах, приведенных в таблице 2. Коэффициенты усиления антенны в полосе основного сосредоточения цифровых каналов оказались соизмеримыми и даже большими по величине. Диаграммы направленности практически стали идентичными по подобию во всем рабочем диапазоне, а по форме приблизились к наиболее востребованным, что значительно увеличило коэффициент защитного действия  $F/B$ . Всё это подтверждает перспективу рассматриваемого направления синтеза антенных решеток.

Опытный вариант антенны, изготовленной в соответствии с первым из числа предложенных технических решений, тестировался на пределе электромагнитной доступности по дальности и без антенного усилителя. Результаты тестирования показали, что использование этой антенны обеспечило приём всех

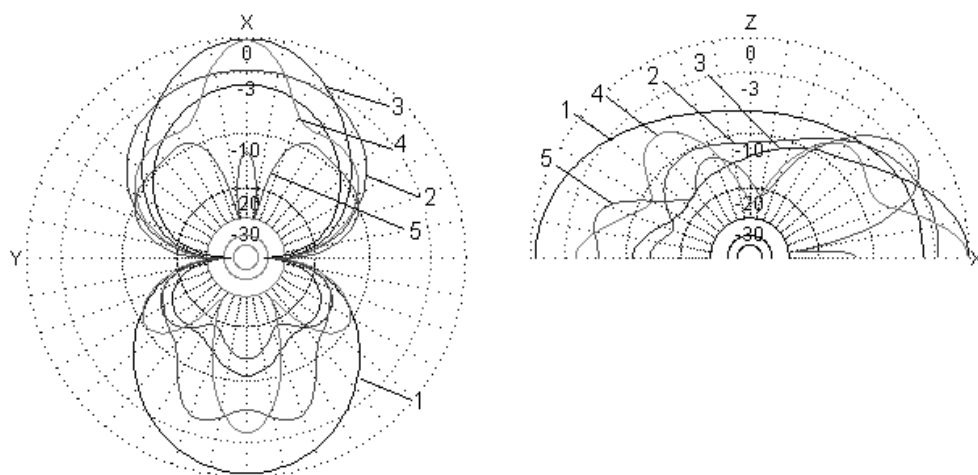


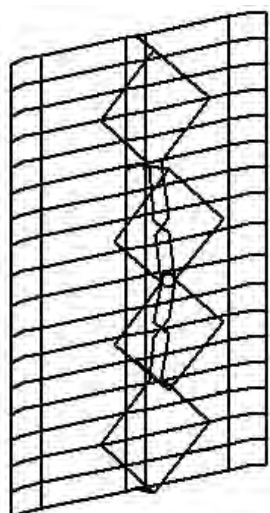
Рисунок 2 – Результаты компьютерного моделирования диаграмм направленности (обозначения кривых в таблице 1)

транслируемых телевизионных каналов. В то же время прототип антенны - антенна из серии ASP-8, используемая с антенным усилителем, обеспечила приём только некоторых телевизионных каналов с повышенным уровнем сигналов. Это уверенно подтверждает вывод о том, что антенны серии ASP-8, без ШАУ не работоспособны и даже с антенными усилителями могут применяться только в облегченных условиях электромагнитной обстановки. В свою

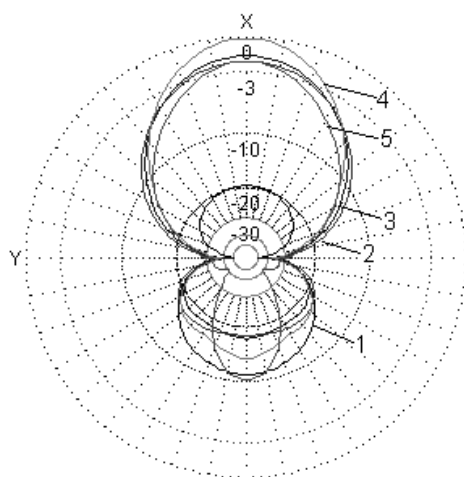
очередь, фазированные антенные решетки, изготовленные на базе Z-элементов, могут быть адаптированы к любым условиям эксплуатации.

*Таблица 1 – Основные электрические параметры антенны (свободная земля; горизонтальная поляризация)*

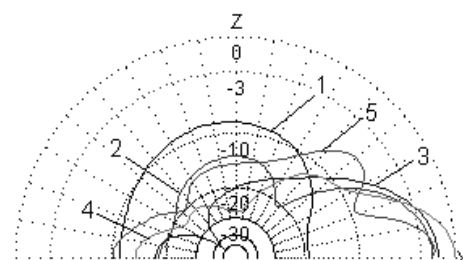
№ кривой на рисунке 2	$F$ , МГц	$R$ , Ом	$jX$ , Ом	$KCB75$	$Gh$ , дБд	$Ga$ , дБи	$F/B$ , дБ	$Elev$ , гр
1	175	146,9	6,921	1,97	6,96	9,11	-3,81	–
2	325	183,1	-193,000	5,38	4,66	6,81	7,32	8,9
3	475	156,3	-63,760	2,51	7,22	9,37	10,72	–
4	625	108,1	51,050	1,94	7,12	9,27	3,75	–
5	775	79,51	164,600	6,39	5,00	7,15	-7,99	31,2



*Рисунок 3 – Антенная решетка*



*Рисунок 4 – Диаграммы направленности антенны (обозначения кривых в таблице 2)*



*Таблица 2 – Основные электрические параметры антенны (свободная земля; горизонтальная поляризация)*

№ кривой на рисунке 4	$F$ , МГц	$R$ , Ом	$jX$ , Ом	$KCB75$	$Gh$ , дБд	$Ga$ , дБи	$F/B$ , дБ	$Elev$ , гр
1	175	24,780	-1471,00	1168	1,78	3,93	-10,40	82,0
2	325	7,521	91,15	24,80	8,10	10,25	12,93	0,4
3	475	145,600	32,66	2,07	8,57	10,72	15,88	0,9
4	625	169,200	195,00	5,51	10,00	12,15	13,46	0,8
5	775	165,00	-18,43	2,23	8,27	10,42	8,12	2,5

**Вывод.** Предложены инновационные подходы к созданию антенных решеток для целей приема радиосигналов телевидения, в том числе и цифрового. Фазированные антенные решетки, изготовленные на базе Z-элементов, обладают улучшенными основными характеристиками, что расширяет перспективу их прикладного использования. Предлагаемые подходы позволяют получить целый спектр новых технических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Милкин, В.И. Инноватика Z-антенн / В.И. Милкин // Наука и образование-2008: междунар. науч.-техн. конф. / Мурман. гос. техн. ун-т. -Мурманск, 2008.
- 2 Харченко, К.П. УКВ антенны / К.П. Харченко. -М.: ДОСААФ, 1969.
- 3 Антенны спутниковые, ТВ, РВ, СИ-БИ, КВ, УКВ. Конструкции. Каталоги фирм. Иллюстрированный обзор публикаций / В.А. Никитин [и др.]. -М.: ДМК, 1999.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радиосвязь, антенная решетка, Z-элементы, прикладное применение, цифровое телевидение

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Калитёнков Николай Васильевич, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
Милкин Владимир Иванович, доцент ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
Лебедев Владимир Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
Шульженко Александр Евгеньевич, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 183010, г.Мурманск, ул.Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»

## АЛГОРИТМЫ РАСЧЁТА РАДИУСА УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЦИРКУЛЯЦИИ СУДНА С ПОМОЩЬЮ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ ПРЯМЫХ

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

Ю.А. Комаровский

ALGORITHMS FOR COMPUTING THE RADIUS OF A SHIP'S STEADY CIRCULATION USING DIAMETRAL LINES

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi

Yu.A. Komarovskiy

We describe three algorithms for obtaining the radius of a ship's circulation. The algorithms are based on measuring the ship's current coordinates with a GPS receiver.

Keywords: GPS-receiver, diameter of steady-turning path, method of least squares

Описаны три алгоритма, предложенные для получения радиуса циркуляции судна. Алгоритмы основываются на измерении текущих координат судна GPS-приёмником.

Стандарты ИМО требуют обязательного проведения натурных испытаний элементов поворотливости судов [1, 9-11]. Натурные испытания проводятся при оговоренных гидрометеорологических условиях, при достаточных глубинах под килём, а также выполняются с позиции достижения приемлемой точности измерений и точности результатов обработки получаемых данных. Неблагоприятные гидрометеорологические условия (сильный ветер, высокая волна, туман, дождь, плавающий лёд, приливо-отливные явления) могут надолго отодвинуть выполнение испытаний. Пренебрежение течением, действующим в данный момент на акватории полигона, неизбежно приведёт к погрешностям определения параметров поворотливости. Поэтому возникает проблема проведения испытаний в короткий срок с минимальными погрешностями и обработкой в реальном масштабе времени, чтобы успеть повторить неудачные пробеги.

К началу 90-х годов минувшего века для определения параметров поворотливости судна были разработаны и апробированы различные методы проведения натурных испытаний [2, 3]. Они основывались либо на использовании судовых радиолокационных станций (РЛС), либо на применении локальных специализированных импульсно-фазовых радионавигационных систем (РНС). К сожалению, все эти методы требовали привлечения большого числа специалистов и были крайне не технологичны. С появлением на судах приёмников спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS открылась перспектива выполнения в реальном масштабе времени высокоточных траекторных измерений. С помощью судовых GPS-приёмников можно в автоматическом режиме непрерывно определять и записывать на жёсткий диск подключаемого персонального компьютера текущие обсервованные координаты судна, параметры вектора его абсолютной скорости, метки времени, а затем обработать эти данные по заранее составленным программам без привлечения береговых специалистов [4, 5]. При этом точность получения координат гораздо выше точности РЛС и РНС. В работах [6-8] изложен подход к определению параметров маневренных характеристик судна через идентификацию постоянных математической модели по результатам траекторных измерений. В частности, в работе [6] предложен способ вычисления радиуса установившейся циркуляции и угловой скорости поворота в условиях действия ветра.

Спутниковые навигационные приёмники используются в судовождении уже более 30 лет. Благодаря высокой технологичности получения текущих обсервованных координат, спутниковые приёмники уверенно вытесняют из арсенала современных штурманов традиционные способы определения места судна. По мере накопления опыта эксплуатации судовых СРНС-приёмников приходит понимание необходимости поиска более совершенных навигационных технологий. Цель предлагаемой статьи заключается в разработке алгоритмов вычисления радиуса установившейся циркуляции по данным траекторных измерений судового GPS-приёмника при известном постоянном течении без учёта математической модели динамики судна.

Предположим, что судно совершило полную циркуляцию в установившемся режиме движения. По условиям задачи вектор течения известен. Поэтому координаты обсервован-

ных точек, полученных судовым GPS-приёмником, исправляются путём удаления из них смещений за счёт действующего течения. Для простоты дальнейших выкладок и вычислений перейдём от угловых координат (от широт и долгот) к линейным  $(x, y)$  с одинаковым масштабом по осям  $X$  и  $Y$ , как это сделано в работе [12]. Дальнейшие рассуждения будем пояснять рисунком 1.

При установившейся циркуляции антенна судового GPS-приёмника описывает в плане окружность с центром в точке  $Q$  и с неизвестным радиусом  $d$ . Координаты центра окружности  $(x_0, y_0)$  также подлежат определению. После выполнения циркуляции, устранения влияния течения и преобразования координат каждому значению путевого угла или курса судна  $i$  на плоскости будет соответствовать точка  $A_i$  с плановыми координатами  $(x_i, y_i)$ . Будем считать, что индексы равны значениям курсов или путевых углов, которые имело судно на циркуляции в моменты обсерваций. В силу действия случайных погрешностей, присутствующих в обсервованных с помощью судового GPS-приёмника, точка  $A_i$  в общем случае не будет принадлежать окружности. Точка  $A_j$  с координатами  $(x_j, y_j)$ ,  $j - i \approx 180$ , будет диаметрально противоположна точке  $A_i$ . Точке  $A_k$  с координатами  $(x_k, y_k)$  в качестве противоположной будет точка  $A_l$  с координатами  $(x_l, y_l)$ ,  $k - l \approx 180$ .

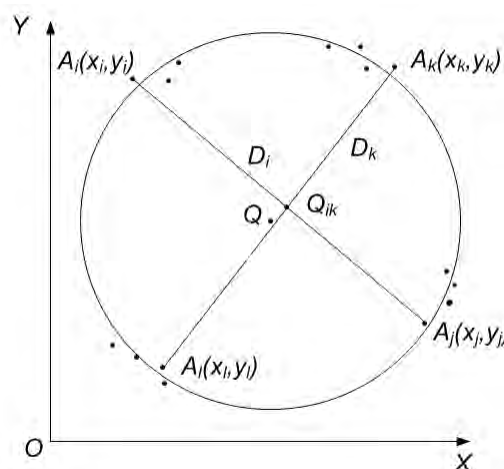


Рисунок 1 – Диаметральные прямые

В рамках данной статьи прямую линию, проходящую через эти точки будем называть диаметральной прямой, а расстояние между этими точками  $D_i$  будем называть диаметральной расстоянием. Очевидно, что точка  $A_j$  в качестве противоположной будет выбрана при условии наибольшей длины диаметрального расстояния  $D_i$ , то есть близости к искомому диаметру окружности. Формально процедура отбора противоположной точки  $A_j$  сводится к отысканию таких координат, при которых

$$D_i = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \rightarrow \max \text{ при } \dots j-2, j-1, j, j+1, j+2, \dots$$

Если предположить, что эмпирические точечные оценки математического ожидания координат  $(x, y)$  стремятся к нулю при увеличении числа наблюдений, эмпирические точечные оценки дисперсии координат конечны и отличны от нуля, а соответствующие координаты статистически независимы, то

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i = D,$$

где  $n$  – число обсерваций, полученных за время выполнения целого числа завершённых циркуляций;

$D$  – искомый диаметр окружности.

Следовательно, чтобы найти диаметр, необходимо по всему массиву координат отыскать диаметральные расстояния и затем усреднить их. Точность полученного таким образом диаметра будет напрямую зависеть от точности работы судового GPS-приёмника, от точности вектора течения и от числа обсерваций на полной циркуляции. Чтобы увеличить точность определения  $D$ , надо совершить несколько полных установившихся циркуляций. Радиусом циркуляции  $d$  будет равен половине  $D$ .

Рассмотренный алгоритм прост, но он не предоставляет возможности вычисления координат центра окружности циркуляции. Известно, что координаты середины отрезка  $(x_{CPi}, y_{CPi})$ , заданного координатами его концов, определяются как  $x_{CPi} = (x_i + x_j)/2$ ,  $y_{CPi} = (y_i + y_j)/2$ . Тогда с учётом выдвинутых ранее допущений координаты точки  $Q$  определяются как

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{CPi} = x_0; \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{CPi} = y_0.$$



К поиску координат центра окружности циркуляции судна можно подойти иначе, если в качестве случайных его координат рассматривать координаты точки пересечения  $Q_{ik}$  двух диаметральных отрезков  $D_i$  и  $D_k$ , у которых  $k - i \approx 180$ .

Уравнения прямых диаметральных отрезков  $D_i$  и  $D_k$  пусть будут  $a_i x + b_i y + c_i = 0$  и  $a_k x + b_k y + c_k = 0$  соответственно. Они будут пересекаться под углом, близким к  $90^\circ$ . Координаты  $(x_{oi}, y_{oi})$  точки их пересечения  $Q_{ik}$  можно найти как корни системы двух линейных уравнений

$$\begin{cases} a_i x + b_i y + c_i = 0; \\ a_k x + b_k y + c_k = 0; \end{cases}$$

$$x_{oi} = \frac{c_i b_k - c_k b_i}{a_i b_k - a_k b_i}; \quad y_{oi} = \frac{c_k a_i - c_i a_k}{a_i b_k - a_k b_i}.$$

Такую процедуру следует повторить для всех  $n$  наблюдений, полученных в ходе выполнения циркуляции. Тогда при  $n \rightarrow \infty$  усреднённые координаты  $x_{oi}$  и  $y_{oi}$  будут сходиться к координатам центра окружности

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{oi} \rightarrow x_0; \quad \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{oi} \rightarrow y_0.$$

Отсюда радиус циркуляции  $d$  можно рассчитать как

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \rightarrow d.$$

Задачу вычисления радиуса установившейся циркуляции можно решить с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Для формулирования такой постановки задачи обратимся к рисунку 2.

На рисунке 2 изображено несколько  $n$  диаметральных прямых, общее уравнение которых  $a_i x + b_i y + c_i = 0$ . Необходимо отыскать точку с координатами  $(x_0, y_0)$ , при которых сумма квадратов отстояний точки от всех диаметральных прямых будет минимальной. Обозначим через  $r_i$  отстояние точки  $Q$  от  $i$ -той диаметральной прямой

$$r_i = \frac{|a_i x_0 + b_i y_0 + c_i|}{\sqrt{a_i^2 + b_i^2}}.$$

Отсюда условие минимальности суммы квадратов отстояний точки  $Q$  от диаметральных прямых запишется как

$$F = \sum_{i=1}^n r_i^2 \rightarrow \min,$$

где

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{(a_i x_0 + b_i y_0 + c_i)^2}{a_i^2 + b_i^2}.$$

Для выполнения условия минимальности, необходимо чтобы частные производные функционала  $F$  по  $x_0$  и  $y_0$  равнялись нулю, то есть

$$\frac{\partial F}{\partial x_0} = 2 \sum_{i=1}^n \frac{(a_i x_0 + b_i y_0 + c_i) a_i}{a_i^2 + b_i^2} = 2 \left[ \left( \sum_{i=1}^n \frac{a_i^2}{a_i^2 + b_i^2} \right) x_0 + \left( \sum_{i=1}^n \frac{a_i b_i}{a_i^2 + b_i^2} \right) y_0 + \left( \sum_{i=1}^n \frac{a_i c_i}{a_i^2 + b_i^2} \right) \right] = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial y_0} = 2 \sum_{i=1}^n \frac{(a_i x_0 + b_i y_0 + c_i) b_i}{a_i^2 + b_i^2} = 2 \left[ \left( \sum_{i=1}^n \frac{a_i b_i}{a_i^2 + b_i^2} \right) x_0 + \left( \sum_{i=1}^n \frac{b_i^2}{a_i^2 + b_i^2} \right) y_0 + \left( \sum_{i=1}^n \frac{b_i c_i}{a_i^2 + b_i^2} \right) \right] = 0.$$

Введём новые обозначения. Пусть

$$A_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i^2}{a_i^2 + b_i^2}; \quad A_{12} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i b_i}{a_i^2 + b_i^2}; \quad B_1 = - \sum_{i=1}^n \frac{a_i c_i}{a_i^2 + b_i^2};$$

$$A_{21} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i b_i}{a_i^2 + b_i^2}; \quad A_{22} = \sum_{i=1}^n \frac{b_i^2}{a_i^2 + b_i^2}; \quad B_2 = - \sum_{i=1}^n \frac{b_i c_i}{a_i^2 + b_i^2}.$$

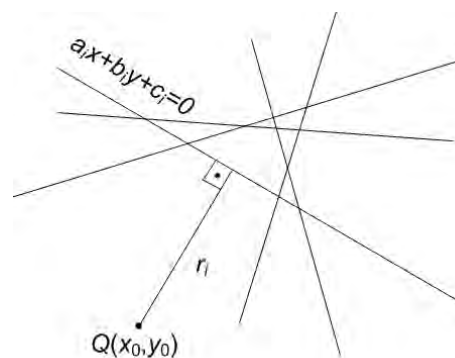


Рисунок 2 – Пояснение МНК-алгоритма

Тогда полученные выше выражения можно представить в виде двух линейных уравнений. Будем рассматривать их в качестве эквивалентных диаметральных прямых. Составим из них следующую систему уравнений

$$\begin{cases} A_{11}x_0 + A_{12}y_0 = B_1; \\ A_{21}x_0 + A_{22}y_0 = B_2. \end{cases}$$

Корнями составленной системы уравнений будут искомые координаты точки Q. Координаты  $(x_0, y_0)$  центра можно будет вычислить по следующим формулам:

$$x_0 = \frac{B_1 A_{22} - B_2 A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{21} A_{12}}; \quad y_0 = \frac{B_2 A_{11} - B_1 A_{21}}{A_{11} A_{22} - A_{21} A_{12}}.$$

Зная координаты центра, можно вычислить радиус циркуляции предложенным выше способом.

Предложенные алгоритмы легко реализуются на ноутбуках любой производительности. Если такой ноутбук во время маневрирования подключить к судовому приёмнику СРНС, то после завершения циркуляции можно сразу же получить необходимые данные. Изучение рассмотренных алгоритмов необходимо продолжить для оценки точности каждого из них.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Стандарты маневренных качеств судов: резолюция ИМО MSC 137(78), 2002.
- 2 Авербах, Н.В. Определение маневренных элементов морского судна и поправки лага / Н.В. Авербах, Ю.К. Баранов. -Л.: Мор. трансп., 1962. -74 с.
- 3 Правила определения маневренных элементов кораблей военно-морского флота (ПОМЭК-85). -Л.: Изд. Гл. упр. навигации и океанографии М-ва обороны СССР, 1987. -199 с.
- 4 Юдин, Ю.И. Обработка результатов натуральных испытаний с учётом траекторных наблюдений манёвров / Ю.И. Юдин, Р.Г. Степахо // Вестн. Мурман. гос. ун-та. -2002. -Т.5, №2. -С. 213-218.
- 5 Юдин, Ю.И. Использование судовой спутниковой навигационной аппаратуры СНС «Навстар GPS» для определения маневренных элементов судна и поправки лага / Ю.И. Юдин, А.Ю. Юдин. -Мурманск: Изд-во Мурман. гос. техн. ун-та, 2003. -40 с. -Деп. в ВНИЭРХ №1398 рх 2003 от 10.12.03.
- 6 Пашенцев, С.В. Идентификация некоторых маневренных характеристик судна по результатам натуральных испытаний / С.В. Пашенцев // Вестн. Мурман. гос. ун-та. -2006. -Т.9, №2. -С. 246-252.
- 7 Юдин, Ю.И. Маневренные характеристики судна как функция параметров его математической модели / Ю.И. Юдин, С.И. Поздняков // Вестн. Мурман. гос. ун-та. -2006. -Т.9, №2. -С. 234-240.
- 8 Юдин, И.Ю. Использование идентифицированных математических моделей судна для обеспечения безопасности судовождения / И.Ю. Юдин, А.Г. Степахо, А.Н. Гололобов // Вестн. Мурман. гос. ун-та. -2009. -Т.12, №1. -С. 10-12.
- 9 Руководство по определению маневренных характеристик судов. НД №2-030101-007. -СПб.: Рос. мор. рег. судоходства, 2005. -16 с.
- 10 Руководство по определению маневренных характеристик судов внутреннего плавания (для Европейских внутренних водных путей). НД №2-030101-028. -СПб.: Рос. мор. рег. судоходства, 2010. -28 с.
- 11 Пояснения к стандартам маневренных качеств судна: циркуляр. письмо ИМО MSC/Circ.1053, 5 дек. 2002.
- 12 Комаровский, Ю.А. Определение с помощью GPS-буя радиуса установившейся циркуляции на течении / Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 145-148.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** GPS-приёмник, диаметр установившейся циркуляции, метод наименьших квадратов  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

## **ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ПОДГОТОВКА ОПЕРАТОРОВ СИСТЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

**ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова»**

**С.Ю. Развозов, М.И. Куличихин**

**PRINCIPLES OF OPERATION AND DYNAMIC POSITIONING OPERATOR'S TRAINING**  
 Admiral Makarov state university of maritime and inland shipping  
 S.Yu. Razvozov, M.I. Kulichikhin

This article contains the analysis of structure and principles of work of a dynamic positioning system. The steps of obtaining dynamic positioning system license and problems related with it issue and possible solutions.

*Keywords: systems of dynamic positioning*

Представлен анализ структуры, принципов работы системы динамического позиционирования. Рассматривается процесс получения диплома оператора системы динамического позиционирования, проблемы связанные с этим вопросом и пути их решения.

Для решения задач, связанных с освоением Мирового океана требуется применение новых типов судов, реализующих возможности современных достижений науки в развитии морских технологий. В частности, одним из значительных направлений прогресса в морской технике явилось создание и широкое внедрение на морском флоте систем динамического позиционирования (СДП). Историю СДП принято вести с 1957 г. Вызвано это было необходимостью произвести бурение на глубине 4500 м, что исключало возможность использования якорей. Дальнейшее развитие систем осуществлялось быстрыми темпами в угоду все возрастающему спросу [3].

В настоящее время СДП получили широкое распространение, они применяются на различных типах судов: пассажирских, транспортно- буксировочных, судах- снабженцах, научно- исследовательских, изыскательских, инженерно- геологических, аварийно- спасательных, буровых, обеспечивающих подводно-технические работы, полупогружных платформах, добывающих и перерабатывающих судах, плавучих нефтехранилищах (суда типа FSO, FPSO), ледоколах и танкерах.

Система динамического позиционирования предназначена для: надежного непрерывного удержания судна (плавучего технического средства) относительно заданной опорной точки по координатам и курсовому углу; следования судна в автоматическом режиме по заранее заданной траектории. СДП является автоматизированным комплексом, включающим в себя энергетическую установку, движители и средства активного управления (подруливающие устройства), компьютеризированную систему управления. Система управления обрабатывает непрерывно поступающую информацию от систем ориентации и датчиков, вырабатывает управляющие сигналы в энергоустановку и движительно-подруливающий комплекс, при помощи которых компенсируется суммарный вектор сил внешнего воздействия на судно [1]. Силы воздействия окружающей среды делятся на следующие две группы- это аэродинамические и гидродинамические силы. К ним относятся силы: ветра, волнения, течения, гидродинамического взаимодействия с другими объектами [3].

Для качественного удержания СДП всегда использует информацию от систем ориентации, работающих на разных физических принципах – гидроакустической, радио-, спутниковой, электромеханической, лазерной и др. [1]. Состав системы динамического позиционирования представлен на рисунке 1.

Стабилизация положения судна относительно заданной точки осуществляется непосредственно с помощью движительных устройств различного типа, комбинации которых являются движительно-рулевым комплексом системы. С целью реализации требуемых тяговых усилий различных направлений применяются движители следующих типов: винты с фиксированными лопастями для создания продольной тяги, винты с регулируемым шагом, позволяющие регулировать тягу путем изменения шага винта, крыльчатые движители, выдвигаемые движительно-рулевые колонки, регулирование тяги которых производится путем изменения частоты вращения, а управление направлением тяги осуществляется путем поворота модуля вокруг вертикальной оси [2].

Классификация оборудования систем динамического позиционирования регламентируется Циркуляром Комитета по Безопасности Мореплавания Международной Морской Организации №645 от 1994 г. (MSC/CIRC 645 June 1994). Системы делятся Международной Морской Организацией на три класса оборудования:

1 Equipment Class 1 система с минимальным резервированием, потеря позиции может произойти в случае единичного сбоя в системе.

2 Equipment Class 2 система с резервированием, которое обеспечивает удержание позиции при единичном отказе в любом активном компоненте системы.



Рисунок 1 – Структура системы динамического позиционирования [2]

Критерии единичного отказа включают в себя:

– любой активный компонент системы (генераторы, двигатели, коммутаторы, клапаны с дистанционным управлением и т.д.);

– любые статические составляющие (кабели, трубы, ручные клапаны и т.д.).

3 Equipment Class 3 система с резервированием, которое обеспечивает удержание судна над точкой позиционирования при единичном отказе элементов в следующих вариантах:

– элементов, перечисленных для Equipment Class 2;

– отказ в любом активном и пассивном элементах, находящихся в разных водонепроницаемых отсеках;

– отказ активных и пассивных элементов, находящихся в любом из водонепроницаемых отсеков в результате затопления или пожара [4].

Рассмотрим основные режимы работы СДП:

– Standby mode – режим ожидания, в котором система находится в состоянии готовности, но не осуществляет управление судном;

– Joystick mode – режим джойстика, в этом режиме движение судна можно контролировать во всех трех направлениях с помощью джойстика;

– Auto Position mode – авто режим, в котором судно находится в полном автоматическом управлении по всем трем осям. Оператор использовать стандартные функции для контроля положения судна [4];

– Approach mode – режим подхода, используется при приближении к погрузочному(швартовому) бую на определенное расстояние. В этом режиме используется принцип «флюгера» для выбора позиции и курса судна. Движение осуществляется с шагом заданного радиуса относительно буя;

– Weather Vane mode – режим «флюгера», используется при погрузках, когда на судне установлена носовая погрузочная система (BLS). Необходимо, что бы перед включением режима судно было пришвартовано и цепной стопор заблокирован [4].

*Подготовка операторов динамического позиционирования.* Существует много производителей СДП: Kongsberg, Navis, Alstom и др. Каждая система имеет свои эксплуатационные особенности. Знание этих особенностей и ограничений играет важную роль при выполнении работ, связанных с динамическим позиционированием. Наряду с глубокими знаниями, внимательностью, умением быстро оценивать ситуацию и принимать нестандартные решения, отличительной чертой оператора СДП является осознание большой ответственности при выполнении работы. Ведь зачастую в руках оператора СДП находятся жизни людей [3].

Поэтому процесс подготовки операторов систем ДП контролируется требованиями Морского Института (Лондон). Компоненты подготовки операторов СДП изложены на рисунке 2.

Система подготовки квалифицированного ДП оператора определяется прохождением двух ступеней обучения(курсов): Вводный/Базовый курс и Курс ДП Симулятор. Первый и второй курсы обучения составляют 4-5 дней и должны состоять минимум из 24 ч обучения.

Вводный/Базовый курс включает в себя как теорию, так и ознакомительную практику управления ДП системой. Подготовка включает следующие темы:

1 Принципы ДП системы;

2 Элементы системы ДП;

3 Управление системой ДП;

4 Системы, используемые для позиционирования судна;

5 Сенсоры и вспомогательное оборудование;

6 Силовые установки, генераторы и системы энергосбережения ДП системы;

7 Типы операций, выполняемые судами, оснащенными ДП системой.

Курс ДП Симулятор включает главным образом имитирование ДП операций, а также имитирование аварийных ситуаций, связанных с вышеуказанными операциями. Он охватывает следующие темы:

1 Управление системы ДП;

2 Типы операций, выполняемые судами, оснащенными ДП системой;

3 Процедуры при аварийных ситуациях.

По окончании Базового курса слушателю выдается журнал для записи опыта работы, в котором будут отражаться судно, опыт работы и типы системы ДП. Далее слушатель обязан пройти 30-дневный ознакомительный опыт на ДП судах с несением вахты ДП под руководством квалифицированного и полностью сертифицированного ДП оператора. 30-дневный опыт работы должен быть полностью отражен в журнале записи опыта работы и

заверен подписью капитана и печатью судна. После этого ему дается право и возможность прохождения Курса ДП Симулятор.

Для того чтобы получить право подавать документы на сертификат, после прохождения курса ДП Симулятор, будущий ДП оператор должен иметь в журнале записи опыта работы о 6 или 10 месяцах практики, в зависимости от класса судна, оборудования и типа ДП операций, в которых он участвовал [5].

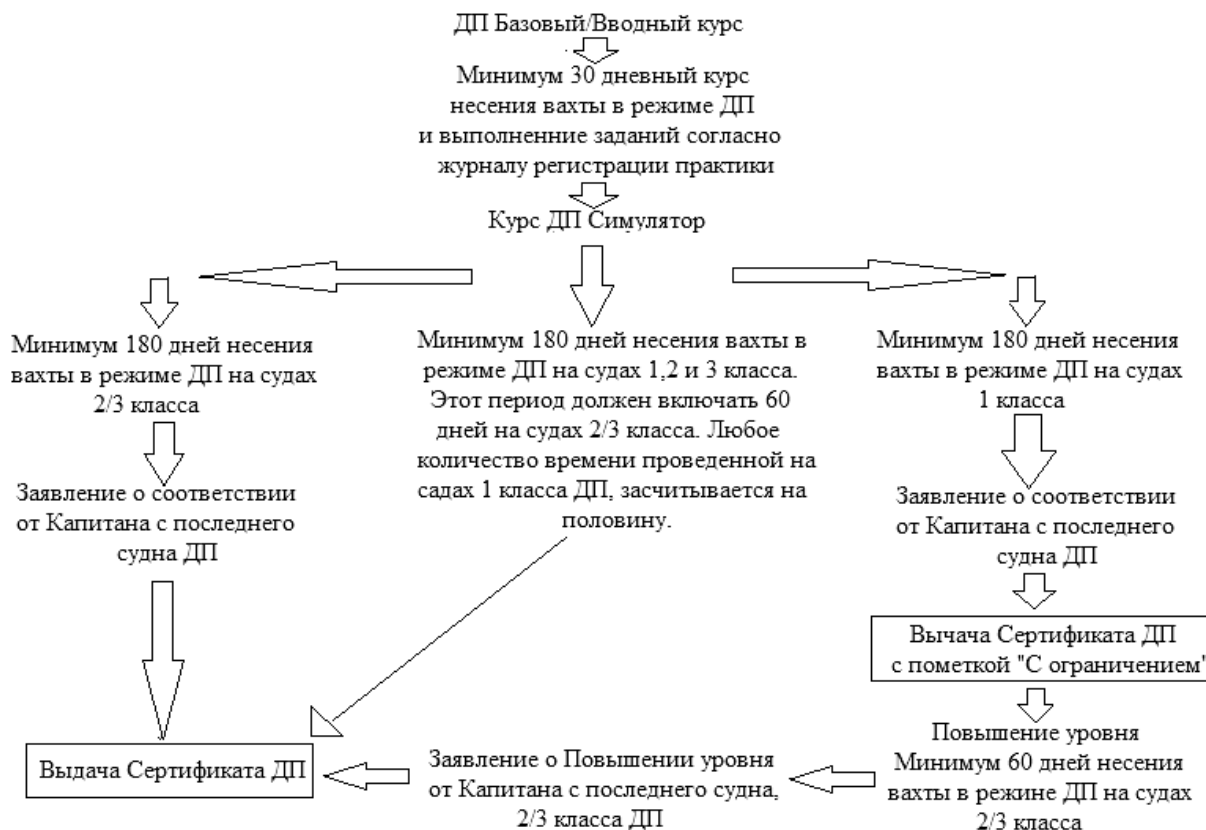


Рисунок 2 – Тренинг-схема операторов СДП

Период, когда будущий оператор получает опыт несения вахты на судах, можно сократить, пройдя интенсивные курсы динамического позиционирования (DP Sea Time Reduction course). Например, пяти дневные курсы, проходящие в тренажерном центре (SMSC) в Тронхейме, позволяют зачесть 42 дня опыта несения вахты на судах ДП. Но эти курсы не могут заменить, ни ознакомительную морскую практику, ни последний месяц работы на ДП судне, когда идет подтверждение пригодности.

Сертификат оператора ДП остается в силе до тех пор, пока его владелец регулярно работает с системой ДП. Если прошло 5 лет, и владелец сертификата не был на судне ДП класса и не использовал систему ДП, то он должен возобновить обучение с курса ДП Симулятор и выполнить все последующие требования [5].

Как мы видим из описанного выше, процесс получения сертификата оператора динамического позиционирования достаточно долгий и трудоемкий. Так же до последнего времени Международная Морская Организация и Морской Институт не предъявляли требований о наличии, у операторов динамического позиционирования образования и рабочих дипломов согласно ПДМНВ 78, что привело к появлению на флоте огромного количества людей без морского образования и надлежащего опыта работы в море. В настоящее время эти упущения учтены, следствием чего явилась колоссальная нехватка квалифицированных операторов ДП.

Независимое классификационное и сертификационное общество Норвегии Det Norske Veritas (DNV), на базе Ship Modeling & Simulation Centre (SMSC) в Тронхейме в 2013 г. организовало обучение и выдачу сертификатов операторов динамического позиционирования по новой схеме, независимой от Лондонского Морского Института. Норвежская схема обучения будет включать в себя теоретическую и практическую части. Будущий оператор будет должен пройти 80 ч практических занятий на тренажере, по окончании курса обучения успешно

сдать теоретический и практический экзамены, после чего ему в тренажерном центре будет выдан сертификат оператора ДП.

Для Российских компаний, которые ведут работы по освоению шельфа Северных и Дальневосточных морей, проблема подготовки своих операторов систем динамического позиционирования стоит довольно остро. В стране на данный момент действует только один морской УТЦ, имеющий лицензию на проведение Вводного/Базового курса и курса ДП Симулятор, а получение дипломов проходит по схеме Морского Института.

Может быть стране имеющей колоссальные морские богатства и историю, пойти по норвежскому пути подготовки операторов систем динамического позиционирования. На базе Государственных Морских Академий и УТЦ под надзором Российского морского регистра судоходства организовать обучение и выдачу, дипломов операторов систем динамического позиционирования Российского образца.

Благодаря своим высоким техническим характеристикам, удобству эксплуатации, возможности проведения работ на значительных глубинах суда с СДП получили широкое практическое применение. Несмотря на их многообразие, эти суда объединяет общий принцип функционирования систем ДП, они открыли новые возможности для интенсивного развития морских исследований, результаты которых составляют необходимую научную базу для всех видов использования и освоения Мирового океана.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 РД 51-10-98. Организация службы динамического позиционирования на судах РАО «ГАЗПРОМ», используемых при освоении морских нефтегазовых месторождений: утв. РАО «Газпром» от 1998-04-14. -1998.
- 2 Барахта, А.В. Структура и принципы работы систем динамического позиционирования / А.В. Барахта, Ю.И. Юдин // Вестн. МГТУ: тр. Мурман. гос. техн. ун-та. -2009. -Т.2, №2. -С. 255-258.
- 3 Потемкин, А.Э. Повышение надежности и эффективности систем динамического позиционирования судов / А.Э. Потемкин, Р.А. Габрук. // Автоматизация судовых техн. средств / ОНМА. -Одесса, 2009. -Вып.15. -С. 59-68.
- 4 Kongsberg K-Pos DP (OS) Dynamic System with Offshore Loading Application Operator Manual, Release 7.1; Kongsberg Maritime AS Norway 2009
- 5 The Nautical Institute Dynamic Positioning Operator's Certificate, January 2010 revision, The Nautical Institute London, United Kingdom

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *системы динамического позиционирования*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Развозов Сергей Юрьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *Куличихин Максим Игоревич, соискатель ФГБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»  
198035, г.Санкт-Петербурге, ул.Двинская, 5/7, ФГБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНЫХ СРЕДСТВ АВИАЦИОННОГО И РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВЕРТОЛЁТОВ СЕМЕЙСТВА МИ-8 С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ЗАО «СПАРК»**

**С.М. Арцыман, Ю.А. Борисов**

**MODERNIZATION OF CONTROL AND TEST MEANS OF THE AVIATION AND RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT OF HELICOPTERS OF MI-8 FAMILY BY MEANS OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES**

**SPARK**

S.M. Artsyman, Yu.A. Borisov

The article presents methods and the results of development of the new generation computer-oriented testing equipment.

*Keywords: information technologies, testing equipment, aircraft maintenance*

Изложена методика и результаты разработки нового поколения контрольно-проверочного оборудования, ориентированного на применение вычислительной техники.

Более половины вертолётного парка России составляют вертолёты семейства МИ-8. В реестре воздушных судов зарегистрированы около тысячи вертолётов модификации МИ-8Т с достаточно большим сроком эксплуатации и около двухсот вертолётов новых модификаций МИ-8МТВ/АМТ. Большинство этих вертолётов эксплуатируется на просторах Севера и Восточной Сибири.

Безопасность полётов и экономическая эффективность вертолётов зависят от большого числа факторов, в том числе от технического состояния, определяемого понятием «лётная

годность». Для поддержания лётной годности в течение жизненного цикла вертолёт периодически в авиакомпаниях или в специализированных центрах выполняются регламентные работы и капитально-восстановительные ремонты на авиаремонтных заводах.

Стоимость регламентных работ и капитально-восстановительных ремонтов занимает примерно четверть в структуре стоимости лётного часа вертолётов МИ-8.

Основными работами при выполнении регламентов являются контрольные проверки авиационного и радиоэлектронного оборудования (АиРЭО). Для выполнения этих проверок при создании первых модификаций вертолётов МИ-8 был разработан комплект наземных средств контроля авиационного и радиоэлектронного оборудования (АиРЭО). Комплект был создан с использованием элементной базы и средств автоматизации, доступных в то время.

К сожалению, изготовленный в то время комплект наземных средств контроля АиРЭО используется и сейчас. Однако на сегодняшний день с учётом успехов в области информационных технологий используемый для технического обслуживания (ТО) комплект наземных средств контроля АиРЭО морально и физически устарел.

*Принцип действия контрольно-проверочных комплексов.* Априори, ориентируясь на опыт других отраслей, можно, несомненно, привести к повышению утверждать, что замена диагностического оборудования, созданного более 20 лет назад, на оборудование, ориентированное на современные информационные технологии, даст положительный эффект. Автоматизация контроля, анализ и хранение результатов контроля несомненно, приведут к повышению уровня безопасности полётов. Сокращение времени контроля и трудоёмкости уменьшит время и затраты на выполнение регламентных работ с вытекающими из этого последствиями.

Эти обстоятельства делают исследования по разработке нового комплекса наземных средств контроля АиРЭО, ориентированных на современные информационные технологии и применение вычислительных средств, весьма актуальными.

Есть еще одно обстоятельство, усиливающее актуальность этих исследований. Дело в том, что к настоящему времени в авиакомпании стран ближнего и дальнего зарубежья проданы и эксплуатируются порядка полутора тысяч вертолётов семейства МИ-8 [1].

Часто в зарубежных авиакомпаниях вертолёт МИ-8 эксплуатируются вместе с зарубежными вертолётами. Использование для технического обслуживания морально устаревшего оборудования негативно сказывается на престиже России и снижает конкурентоспособность отечественных вертолётов. Особенно это сказывается сейчас при продаже за рубежом новых модификаций МИ-171/172.

Автоматизация процесса испытания, измерение и обработка параметров технологического процесса это лишь малая часть задач, которые способен решать вычислительный комплекс на базе современной вычислительной машины.

Современная начинка персонального компьютера способна преобразовывать сигналы от любых датчиков перемещения, угловых положений, температурных датчиков, датчиков вибрации, преобразовывать сложные модулированные электрические сигналы в понятную для компьютера цифровую форму.

Сам компьютер при этом имеет специальные программные средства для обработки сигналов, заменяя целую лабораторию контрольно-измерительных приборов.

После обработки данных по заранее заложенному алгоритму вычислительная машина не только отображает информацию в удобном для оператора виде, но и формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы (электроприводы, электромагнитные клапаны и т.д.) через специальные устройства называемые контроллерами.

А также формирует электрический сигнал сложной формы амплитудно-модулированный, частотно-модулированный, нарастающий или убывающий по определённому закону в качестве входного тестового сигнала для электронной аппаратуры.

При этом накапливаются статистические данные, обработка которых позволяет гибко настраивать технологический процесс и создавать по настоящему интеллектуальную систему, способную прогнозировать и предотвращать отказы авиационной техники.

Принцип совмещения ПК и измерительных блоков является основой для модернизации проверочного оборудования применяемого при ТО и ремонте АиРЭО.

*Факторы, влияющие на выбор комплекта контрольно-проверочных комплексов.* В регламенте технического обслуживания АиРЭО вертолёт семейства МИ-8 [2] поименовано 69 позиций (радиостанции, авиагоризонты, системы измерения параметров двигателей и других агрегатов и т.д.), которые должны быть проверены при выполнении регламентных

работ со снятием их с вертолётa.

При формировании комплекта контрольно-проверочных комплексов, то есть определения их количества и распределения между ними подлежащих проверке систем и агрегатов АиРЭО, необходимо учитывать множество разнородных факторов. Помимо чисто технических факторов необходимо учитывать факторы экономические и социальные.

В процессе разработки «оптимизация» комплекта производилась на двух уровнях. Высший уровень – это определения состава комплекта контрольно-проверочных комплексов. Низший уровень – «оптимизация» схемного решения для каждого контрольно-проверочного комплекса. В рамках данной статьи рассматривается только высший уровень.

Одним из критериев при распределении подлежащих проверке систем и агрегатов АиРЭО между контрольно-проверочными комплексами является однородность тестовых сигналов, которые должны генерировать контрольно-проверочные комплексы при проверках систем и агрегатов АиРЭО.

*Группа 1*, группа радиооборудования – радиостанции, бортовые магнитофоны, речевые оповещатели и информаторы, самолётно-переговорные устройства.

*Группа 2* – доплеровские измерители.

*Группа 3* – радиоконпасы. При проверке радиоконпасов помимо измерений электрических величин производятся измерение углов ориентации антенн.

*Группа 4* – автопилоты.

*Группа 5* – анероидно-мембранные приборы. При проверке приборов этой группы помимо измерений электрических величин производятся измерения давления: статического, динамического и дифференциального.

*Группа 6* – авиагоризонты. При проверке авиагоризонтов помимо электрических воздействий используются механические: угол установки и частота вращения.

*Группа 7* – в этой группе оказался ряд приборов контроля работы силовой установки: измеритель вибрации ИВ-500; система сигнализации о пожаре ССП-ФК; сдвоенная измерительная аппаратура 2ИА-6; термоэлектрический термометр ТСТ-282С; регулятор температуры РТ-12-6. В эту же группу включены бортовое устройство регистрации параметров БУР-1-2 и несколько разнородных по функциям датчиков, в том числе датчик угловых перемещений. Всего 14 систем и агрегатов.

*Группа 8* – в эту группу вошли несколько приборов контроля работы силовой установки – измеритель частоты вращения, измеритель режимов, топливомер и др. К этой группе отнесены манометры, сигнализаторы давления и измерители температуры. Всего 14 систем и приборов.

Распределение систем и агрегатов АиРЭО по группам тестовых сигналов не даёт ответа на вопрос – в каком составе и сколько контрольно-проверочных комплексов должно входить в комплект.

*Выбор состава комплекта контрольно-проверочных комплексов.* В принципе составление элементной базы позволяет создать один контрольно-проверочных комплексов для проверки систем и агрегатов АиРЭО всех рассмотренных групп. Это один граничный вариант комплекта. Другой граничный вариант комплекта – создание индивидуальных контрольно-проверочных комплексов для каждой из систем и агрегатов АиРЭО. Определить точную стоимость этих граничных и других вариантов на стадии формирования комплекта контрольно-проверочных комплексов не представляется возможным.

Однако оценочные проработки комплексов позволяют считать стоимость любых вариантов комплекта контрольно-проверочных комплексов примерно одинаковой. Поэтому стоимость комплекта контрольно-проверочных комплексов как фактор, влияющий на выбор варианта комплекта, можно исключить из рассмотрения при выборе наиболее подходящего варианта.

Определяющими факторами при выборе варианта комплекта контрольно-проверочных комплексов остаются факторы эксплуатационные: время, которое затрачивается на проверочные операции (рисунок 1) всех систем и агрегатов АиРЭО, и количество специалистов, выполняющих проверочные операции.

Количество специалистов, выполняющих проверочные операции, однозначно связано с количеством контрольно-проверочных комплексов в комплекте. Разумно и естественно, когда за каждым комплексом закреплён один оператор.

Для определения времени, затрачиваемого на проверочные операции, следует рассмотреть принципиальную схему технологических операций проверки систем и агрегатов



АиРЭО, которая будет использоваться на проверочном оборудовании «нового поколения». Укрупнённая схема технологии проверки приведена на рисунке 1.

Количественная оценка длительности технологических операций производилась на реальном оборудовании АиРЭО путём хронометража операций по установке режимов работы оборудования. Хронометрировались также операции по подключению систем и агрегатов АиРЭО к комплексу и отключению. Оценивались продолжительность операций настройки комплекса на конкретное оборудование, ввода паспортных данных и формирования протокола.

Полученные результаты уложились в диапазон от 10 минут (электрические датчики давлений) до 45 минут (радиостанции, доплеровские измерители). Средняя величина длительности проверки одной системы или одного агрегата АиРЭО составила 34 минуты.

Это значение использовалось для определения количества контрольно-проверочных комплексов в оптимальном комплекте.

Естественно, что результаты оптимизации будут разными для авиакомпаний с разным количеством эксплуатируемых вертолётов и разным годовым налётом на списочный вертолёт. Оптимизация производилась для авиакомпаний, владеющих от 5 до 15 вертолётов, с годовым налётом на списочный вертолёт 350 ч. По данным реестра таких авиакомпаний более половины.



Рисунок 1 – Технологическая цепочка проверки оборудования



Рисунок 2 – «Оптимальный» комплект контрольно-проверочных комплексов

Удовлетворительным вариантом оптимизации оказался комплект, состоящий из 9 контрольно-проверочных комплексов. Такой вариант оправдан технически (8 комплексов с однородными тестовыми сигналами и 9-ой комплекс для проверки измерительной техники общего назначения) и эксплуатационно (бригада из 8 операторов выполняет проверки всех систем и агрегатов АиРЭО в течение одного рабочего дня). Этот вариант даёт возможность уменьшить время выполнения 200 часовых регламентных работ за счёт совершенствования процессов технического обслуживания силовой установки и гидро-механических систем вертолётa.

*Заключение.* Для АТБ типичных российских вертолётных авиакомпаний при обслуживании порядка 10 вертолётов семейства МИ-8 «оптимальным» оказывается комплект из 9 контрольно-проверочных комплексов: 8-ми комплексов для проверки систем агрегатов АиРЭО и одного комплекса для проверки измерительной техники общего назначения (рисунок 2).

Такой комплект является «оптимальным» и для производителей, так как позволяет распределить системы и агрегаты АиРЭО между комплексами по критерию однородности тестовых сигналов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Борисов, Ю.А. Наши заказчики находятся на пяти континентах / Ю.А. Борисов // Авиасалоны мира. -2005. -№3(34). -С. 12-20.
- 2 ГОСТ 24212-80. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения. -М.: Изд-во стандартов, 1980.
- 3 Вертолет МИ-8: рук. по ремонту. -1989. -4 кн.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *информационные технологии, контрольно-проверочное оборудование, техническое обслуживание авиационной техники*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Арцыман Сергей Михайлович, генеральный директор ЗАО «СПАРК»  
Борисов Юрий Александрович, канд. техн. наук, советник генерального директора ЗАО «СПАРК»*

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

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ**

Хабаровский филиал, ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Р.И. Павленко**

**MODERN TECHNICAL MEANS OF NAVIGATION IN THE FAR EAST**  
Novosibirsk state academy of water transport, Habarovsk branch  
R.I. Pavlenko

About the organization of safe navigation on the vessels working in Amur river basin.

*Keywords: safety of navigation*

Рассказывается об организации безопасного судовождения на судах, работающих в Амурском бассейне.

Сегодня немногие капитаны, а тем более люди не связанные с движением флота, смогут пояснить, на чём основывалась безопасность судовождения ещё каких-то 50-60 лет тому назад. Разные истории рассказывают старые «речные волки», многие из этих историй умельцами переложены на стихи и посвящены различным событиям на Амурских просторах, и порой трудно отличить правду от вымысла. Причём досконально известно, что в те времена главными помощниками капитана в обеспечении безопасности судоходства являлись богатый судоводительский опыт, да хороший бинокль, зачастую даже трофейный. Про радиолокационные станции в те времена слышали не многие, а видели, и тем более пользовались – единицы.

Время идёт вперёд, на дворе двадцать первый век, вместе с ним развивается наука и передовые инновационные технологии. Землю опоясали орбиты искусственных спутников глобальных систем позиционирования GPS (США) и «Глонас» (Россия), используя данные которых с помощью приёмников GPS можно обеспечить довольно высокую – до 3-5 м точ-

ность позиции судна на поверхности планеты. В результате этого системы глобального позиционирования прочно вошли в жизнь судоводителей, как хорошие помощники для обеспечения безопасности судоходства, наряду с современными РЛС.

В западных регионах России, где в настоящее время судоходство развито несравненно значительней, чем на Дальнем Востоке, уже давно созданы электронные карты внутренних водных путей, системы отображения электронной навигационной картографической информации (СОЭНКИ), использование которых при помощи установленного на судне соответствующего радиоэлектронавигационного оборудования даёт неоценимую помощь судоводителям в обеспечении безопасности судоходства. В результате работы СОЭНКИ на посту управления судном на дисплее судоводителя отображается участок внутреннего водного пути, на котором происходит движение судна, со всеми деталями судоходно-навигационной обстановки: позиция самого судна, глубины, привязанные к ближайшему гидрологическому посту, ось и кромки судового хода, береговая и плавучая обстановка, а также все навигационные опасности – узкости, перекаты, косы и осередки, свальные и затажные течения и т.п. Современные системы допускают при необходимости возможность наложения радиолокационного изображения в масштабе на электронную карту, поэтому трудно переоценить такую информацию для обеспечения безопасного судоходства.

Недостатком таких систем является трудность и временные издержки при изменении судоходно-навигационного оборудования на внутренних водных путях и необходимость корректуры в связи с этим электронных карт, которую может производить только разработчик. Положительным моментом является тот факт, что внутренние водные пути западных регионов России, как правило, зарегулированы и судоходно-навигационное оборудование внутренних водных путей в этих регионах подлежит редким изменениям.

На Дальнем Востоке, в частности в Амурском бассейне, где внутренние водные пути представлены свободными (не зарегулированными) реками, обстановка с изготовлением электронных карт совершенно иная. В течение всего одной навигации на наиболее используемых для судоходства участках Нижнего, Среднего Амура, а также притоках Уссури, Тунгуска и Амгунь, ввиду интенсивности русловых процессов происходит от 20 до 30 серьёзных изменений в составе судоходно-навигационного оборудования. Ведущие разработчики в области электронной картографии по заданию Министерства транспорта Российской Федерации уже в течение более чем трёх лет производят работу по изготовлению электронной карты бассейна реки Амур. На данный момент изготовлено более половины общего объёма электронных карт, но сегодня уже существует необходимость корректуры изготовленного, но ещё не выпущенного в свет материала. В связи с этим в Амурском бассейне с некоторых пор существует практика использования для безопасности судоходства приёмников спутниковой навигации зарубежных изготовителей – «Garmin» и «Furuno», без электронных карт.

Метод судоходства с использованием данных приёмников GPS основывается на способности этих приборов «запоминать» на поверхности Земли точки, введённые оператором или автоматически. При правильном введении точек, соответствующим местам сопряжения створных линий внутреннего водного пути, а так же используя другие возможности приёмника, в его памяти выстраивается довольно точная схема пути, в большой степени соответствующая створной линии реки, то есть оси судового хода. Всё это, при выводе на экран приёмника, даёт достаточное количество дополнительной информации судоводителю для удержания судна (состава) в пределах судового хода. Достоверность же информации зависит только от подготовленности оператора (судоводителя) и своевременной корректуры положения используемых точек в случае изменения створной линии, то есть от пресловутого человеческого фактора. На дисплеях таких приёмников нет очертаний берегов, островов и навигационных опасностей, но при необходимости каждый пользователь имеет возможность сделать это самостоятельно. Корректурой таких приборов, как правило, занимаются сами судовладельцы.

Первые приёмники GPS в Амурском бассейне были установлены в 2002 году на СПК «Метеор», работающих на линии Хабаровск-Николаевск на Амуре. За короткое время судоводители высоко оценили возможности таких спутниковых приборов и помощь, оказываемую ими в обеспечении безопасности судоходства. В последствии, путём соединения приёмников GPS и РЛС, в результате их взаимодействия комплексы GPS на СПК были преобразованы в навигационные спутниковые системы. В этом случае на экран РЛС может быть выведена дополнительная информация, оказывающая судоводителю гораздо большую помощь в обеспечении безопасности судоходства при работе в условиях ограничен-

ной видимости или при неосвещённой СНО.

В последние годы судовладельцы и капитаны практически всех судов в бассейне, учитывая глубоко позитивный эффект эксплуатации приёмников GPS, в стремлении обеспечить безопасность судовождения, самостоятельно устанавливают такое оборудование на свои суда и используют его как вспомогательное навигационное оборудование. Установка в своё время GPS плоттера на т/х «Ерофей Хабаров» сделала возможной работу этого теплохода на регулярной пассажирской линии Хабаровск-Николаевск на Амуре. Кроме того у нас имеется уникальный случай эксплуатации такого приёмника на туристическом т/х «Капитан Котенко», который успешно работал на довольно протяжённой – около 2000 км линии Благовещенск-Николаевск на Амуре, а первый приёмник GPS 1650 plotter на этом теплоходе устанавливал и «обкатывал» ещё сам заслуженный речник Амурского бассейна капитан Виктор Григорьевич Котенко. Таким образом, сегодня уже можно говорить о положительной статистике эксплуатации приёмников GPS в целях обеспечения безопасности судоходства на внутренних водных путях Амурского бассейна. Судовладельцами подсчитано, что суда, оборудованные приёмниками GPS, за весь период их эксплуатации не имеют посадок на мель, в том числе в условиях ограниченной видимости, работают более стабильно и на этих судах на 35% сократились непроизводительные простои по причине тех же условий ограниченной видимости.

Кроме того уже много лет существует практика оказания помощи работниками лоцманских организаций Амурского бассейна капитанам судов река-море, при заходе в Амур в сложных навигационных условиях (осень, снегопады, туманы). При этом необходимо отметить, что, обычно, для обеспечения безопасности судоходства и безостановочного движения к пункту погрузки-выгрузки, при осуществлении подобных проводок ими также используются установленные на морских судах приёмники GPS, современные РЛС и собранные за много лет данные, которые впоследствии остаются на теплоходах и, как правило, оказывают неоценимую помощь судоводителям.

Для обеспечения безопасности судовождения и снижения аварийности, учитывая сложную ситуацию с созданием и внедрением в Амурском бассейне электронной картографии, а также изучив досконально этот вопрос, считаю необходимым электронные данные, используемые для приёмников GPS обобщить, унифицировать, сконцентрировать в бассейновом органе государственного управления на внутреннем водном транспорте, сделать доступными для судоводителей и судовладельцев, а при необходимости наладить взаимодействие в этом вопросе с другими негосударственными организациями, участвующими в обеспечении безопасности судоходства.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *безопасность судовождения*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Павленко Роман Иванович, старший преподаватель Хабаровский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *680007, г.Хабаровск, пер.Ремесленный, 4, Хабаровский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

### CRITERION OF THE QUALITY OF PARAMETRIC OPTIMIZATION OF VIBROISOLATORS

Novosibirsk state academy of water transport

P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva

For vibroprotection systems the choice of criterion of optimality is primarily determined by the purpose of vibroprotective system - decrease in a level of vibration of the insulated object. Therefore, it is expedient to raise the question about the choice of such parameters of the vibration protection systems to provide the lowest level of vibrations of the insulated object. The article considers the choice of criterion of quality of parametric optimization of vibration-damping bearings.

*Keywords: the quality criterion of optimization of vibration-damping bearings*

Для виброзащитных систем выбор критерия оптимальности в первую очередь определяется назначением виброзащитной системы – уменьшение уровня вибраций изолируемого объекта. Поэтому целесообразно ставить вопрос о выборе таких параметров рассматриваемых виброзащитных систем, которые обеспечивали бы наименьший уровень вибраций изолируемого объекта. В статье рассматривается выбор критерия качества параметрической оптимизации виброизолирующих опор.

Решение задач оценки предельных возможностей производится в основном с позиций теории оптимального управления. При этом оценки предельно допустимого критерия качества вычисляются после решения соответствующей задачи оптимального управления.

Рассмотрим виброзащитную систему пассивно-активного типа [1]. Управляющий процесс этой системой можно представить в виде

$$\ddot{x} = u(t) - \ddot{y}(t), \quad (1)$$

где  $u(t) = -\varphi(x, \dot{x}, t)$  – кусочно-непрерывная функция, играющая роль управления. Начальные условия уравнения (1) определяются системой:

$$\begin{cases} x(0) = 0; \\ \dot{x}(0) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

На фазовую переменную  $x(t)$  наложим ограничения

$$|x(t)| \leq L; \quad t > 0. \quad (3)$$

Оценим снизу численное значение критерия качества

$$J(u) = \max_{t \geq 0} u^2(t), \quad (4)$$

которое может быть достигнуто, если система (1) при выполнении условий (3) будет управляться оптимально в смысле минимума функционала (4).

Принципиальное отличие предложенной постановки задачи оптимального управления в том, что здесь не требуется определение самого оптимального управления, а требуется оценить (найти оценку снизу) предельное значение критерия качества (4) при выполнении фазовых ограничений (3).

В работе [2] было доказано, что минимальное значение оптимизируемого функционала в следующей задаче оптимального управления

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2; \\ \dot{x}_2 = u(t) - \ddot{\sigma}(t); \\ x_1(0) = 0; \\ x_2(0) = 0; \\ |u(t)| \leq l, \quad t \geq 0; \\ J_1(u) = \max_{t > 0} x_2^2(t), \end{cases} \quad (5)$$

монотонно зависит от параметра, описывающего ограничение на управление, то есть  $l$ . В задаче (5)  $x_1 = x$  – относительное смещение изолируемого объекта;  $x_2 = \dot{x}$  – скорость смеще-

ния;  $\ddot{\sigma} = \dot{y}$  - вторая производная функции  $y(t)$  – смещения основания.

Пусть  $I^*$  - предельное значение, определяемое как квадратный корень от предельного значения критерия (4), при выполнении фазовых ограничений (3) (численное значение критерия (4) в задаче (1)-(4) при оптимальном управлении  $u^*(t)$ )

$$I^* = \sqrt{J(u^*)} = \sqrt{\min_u J(u)}.$$

В силу сказанного выше, при предельном значении  $I^*$ , численное значение критерия качества в задаче (5) при оптимальном управлении определяется выражением:  $J_1(u^*) = I^2$ .

Можно также заметить, что оптимальное управление  $u^*(t)$  в задаче (1)-(4) будет оптимальным и в задаче (5) при  $I = I^*$ .

Для сравнения критерия оптимальности (4) и (5) запишем уравнение ограничений относительно осредненных величин  $F_{cp}^2$  и  $x_{cp}^2$  рассматриваемой виброзащитной системы

$$F_{cp}^2 (\ddot{x}_{cp})^2 = p^2 Q^2 = \frac{4g^2 p^2 C^2 k^4 \mu^4 d^8 D^4}{\gamma^2 (D^2 - \delta^2)^2 (D^2 - \delta^2 - kd^2)^2}. \quad (6)$$

Равенство (6) указывает на то, что осредненная резкость относительных перемещений изолируемого объекта при заданном осредненном уровне виброизоляции не может иметь величину меньшую, чем величина квадрата мощности, удовлетворяющая условию (6).

Получим выражения для  $F_{cp}^2$  и  $x_{cp}^2$ , входящих в критерий (5). Для этого подставив (6) в (5), найдем

$$W = F_{cp}^2 + \xi_2 \frac{p^2 V_{cp}^2(p)}{F_{cp}^2}, \quad (7)$$

где 
$$V_{cp}^2(p) = \int_0^\infty V^2(p) dt; \quad V^2(p) = \int_0^\infty \int_0^\infty Q^2(p, t) dt dt. \quad (8)$$

Дифференцируя (7) по  $F_{cp}^2$  и приравнявая к нулю полученное выражение, получим

$$x_{cp}^2 = p \sqrt{\frac{V_{cp}^2}{\xi_2}}. \quad (9)$$

На рисунке 1 приведена зависимость эффективности виброзащиты в виде осредненных величин  $F_{cp}^2$  и  $x_{cp}^2$  от постоянной  $\xi_2$  в соответствии с (9).

Сравнение эффективности двух ПВО, сконструированных на основе критериальных функций (4) и (5), казалось бы, указывает на определенные преимущества критерия (4). Однако с уменьшением давления в гидравлической части опоры эти преимущества уменьшаются в  $\sqrt{p}$  раз. Поэтому, учитывая наличие требований к виброзащите, и качеству переходного процесса в критерии (5) с одной стороны, а с другой стороны тот факт, что давление в гидравлической полости опоры  $p \approx 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , следует отметить, что оптимизация параметров виброзащитной системы по критерию (5) оказывается более предпочтительной.

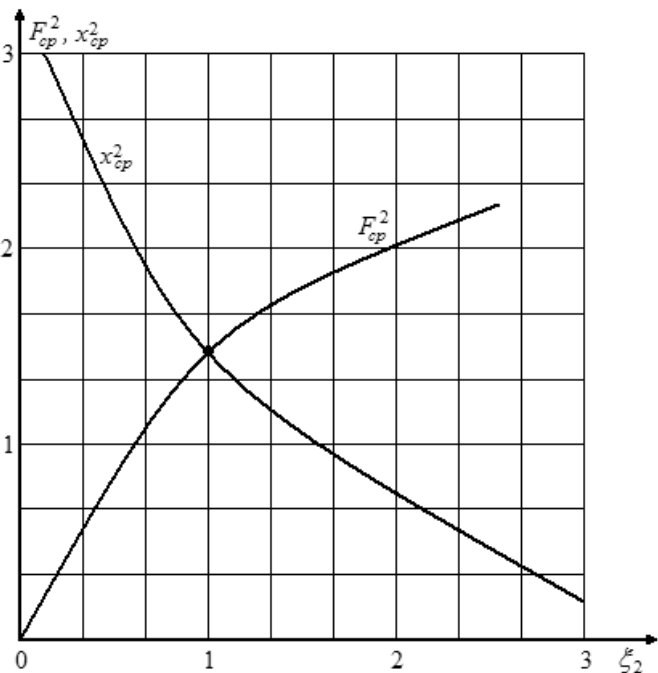


Рисунок 1 – Зависимость величин  $F_{cp}^2$  и  $x_{cp}^2$  от весового множителя  $\xi_2$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Фомичев, П.А. Виброизолирующие гидравлические опоры нового поколения / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. -190 с.  
 2 Растринин, А.А. Системы экстремального управления / А.А. Растринин. -М.: Наука, 2004. -630 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** критерий качества оптимизации виброизолирующих опор  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## **ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО НАКОПИТЕЛЯ**

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)

**М.И. Куколев, В.С. Кукис, С.Н. Вильдяева**

**GENERALIZED ASSESSMENT METHOD OF AN OPERATING MODES OF THE THERMAL STORAGE SYSTEM**  
Saint Petersburg state polytechnical university  
South Ural state university (national research university)  
M.I. Kukolev, V.S. Kukis, S.N. Vildjaeva

In paper presents the generalized assessment method of an operating modes of the thermal storage system with the processes of simultaneously charge and discharge.

*Keywords: thermal storage system, operating mode, Stirling engine*

Предложена обобщенная методика оценки режимов работы теплового накопителя, в котором одновременно протекают процессы подвода и отвода энергии.

При утилизации теплоты отработавших газов двигателей внутреннего сгорания (ДВС), определенные перспективы имеют двигатели Стирлинга (ДС). Однако ДВС в подавляющем большинстве случаев работают на переменных режимах, поэтому необходимо иметь систему подвода теплоты к нагревателю утилизационного ДС, обеспечивающую стабильность теплового потока, передаваемого в его внутренний контур, независимо от температуры источника энергии – отработавших газов ДВС. Эта стабильность может быть обеспечена тепловыми накопителями (ТН) энергии с фазопереходными (плавящимися) теплоаккумулирующими материалами (ТАМ) [1-5].

Режимы работы таких ТН отличаются от известных случаев «чистого» заряда, «чистого» разряда и «чистого» хранения энергии [4, 5]. Это связано с тем, что энергия подводится в систему и отводится от нее одновременно. Можно выделить три варианта состояния подобных ТН: 1-количество подводимой к ТН энергии превышает количество отводимой (заряд); 2-количество подводимой энергии меньше чем количество отводимой из ТН (разряд); 3-количества поступающей в ТН и отводимой от него энергии равны.

*Рассмотрим предельные случаи.* При заряде увеличивается количество расплавленно-го ТАМ, что характеризуется скоростью передвижения границы фазового перехода  $w_c$ . При разряде растёт слой твердого ТАМ со скоростью передвижения границы  $w_d$ . Здесь и далее индексы «с» и «d» относятся к заряду и разряду, соответственно. Результирующая скорость передвижения границы фазового перехода будет определяться взаимодействием предельных скоростей. В связи с этим, представляется возможным определить состояние ТН при одновременном подводе и отводе энергии с помощью коэффициента направленности процесса

$$\bar{v} = \frac{w_c}{w_d} . \quad (1)$$

Предлагаемая методика расчета коэффициента направленности процесса приводится ниже.

На рисунке представлена расчетная схема ячейки ТН.

Сначала, в соответствии с конструкцией ТН, задаются исходные данные:

$t$  – длительность процесса;

$T_{ci}, T_{di}$  – температуры теплоносителей на входе в ячейку ТН со стороны подвода энергии и, соответственно, со стороны отвода;

$\dot{m}_c, \dot{m}_d$  – секундные массовые расходы теплоносителей в каналах ТН;

$C_{p,c}, C_{p,d}$  – удельные массовые изобарные теплоемкости теплоносителей.

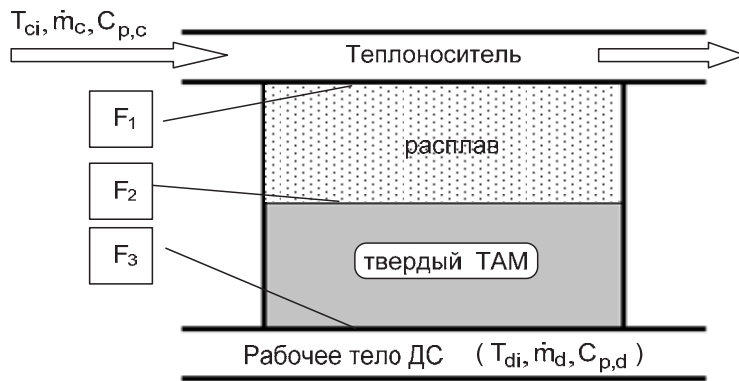


Рисунок – Расчетная схема ячейки ТН

Проектировщик осуществляет выбор конструктивной схемы ячейки ТН (где площади границы фазового перехода:  $F_1$ -начальная со стороны подвода энергии;  $F_2$ -промежуточная;  $F_3$ -начальная со стороны отвода энергии), определяет коэффициенты теплопередачи со сторон подвода и отвода энергии –  $K_c$  и  $K_d$ , выбирает ТАМ с фиксацией теплофизических свойств: температуры плавления  $T_m$ , плотностей материала в расплавленном  $\rho_l$  и твердом  $\rho_s$  состояниях, коэффициентов теплопроводности материала в расплавленном  $\lambda_l$  и твердом  $\lambda_s$  состояниях, скрытой теплоты фазового перехода  $L$ .

Оцениваются потери с помощью энергетических КПД  $\eta_c$  и  $\eta_d$ .

Для примера будем рассматривать плоскую, цилиндрическую и сферическую ячейки с ТАМ. Безразмерное число теплопередачи  $N$ , с учетом рассматриваемых конфигураций ячеек, будет иметь вид:

а) плоская

$$N_{c,flat} = \frac{K_c \cdot b \cdot \ell}{\dot{m}_c \cdot C_{p,c}}; N_{d,flat} = \frac{K_d \cdot b \cdot \ell}{\dot{m}_d \cdot C_{p,d}}; \quad (2)$$

б) цилиндрическая

$$N_{c,cyl} = \frac{K_c \cdot \pi \cdot d_{c,1} \cdot \ell}{\dot{m}_c \cdot C_{p,c}}; N_{d,cyl} = \frac{K_d \cdot \pi \cdot d_{d,1} \cdot \ell}{\dot{m}_d \cdot C_{p,d}}; \quad (3)$$

в) сферическая

$$N_{c,sp} = \frac{K_c \cdot \pi \cdot d_{c,1}^2}{\dot{m}_c \cdot C_{p,c}}; N_{d,sp} = \frac{K_d \cdot \pi \cdot d_{d,1}^2}{\dot{m}_d \cdot C_{p,d}}; \quad (4)$$

где  $b$  – ширина ячейки;

$\ell$  – длина ячейки;

$d_{c,1}, d_{d,1}$  – начальные диаметры границы фазового перехода.

Безразмерное время процесса  $\tau$  найдется как:

$$\tau_c = \frac{t \cdot K_c^2 (T_{ci} - T_m)}{\lambda_l \cdot \rho_l \cdot L}; \tau_d = \frac{t \cdot K_d^2 (T_m - T_{di})}{\lambda_s \cdot \rho_s \cdot L}. \quad (5)$$

Определяем коэффициенты формы  $\Phi$ , учитывающие соотношения начальной и конечной площадей границы фазового перехода и форму ячеек

$$\Phi_c = \frac{F_1}{F_2}; \Phi_d = \frac{F_3}{F_2}. \quad (6)$$

Так как площадь промежуточной границы фазового перехода меняется в каждый момент времени, то можно записать:

а) плоская

$$\Phi_{flat,c} = \Phi_{flat,d} = 1; \quad (7)$$

б) цилиндрическая

$$\Phi_{cyl,c} = \exp\left(-\frac{W_{c,cyl} \cdot \tau_c}{m m_c}\right); \Phi_{cyl,d} = \exp\left(-\frac{W_{d,cyl} \cdot \tau_d}{m m_d}\right); \quad (8)$$

в) сферическая

$$\Phi_{sp,c} = 1 - \frac{W_{c,sp} \tau_c}{m m_c}; \Phi_{sp,d} = 1 - \frac{W_{d,sp} \tau_d}{m m_d}. \quad (9)$$

Здесь



$$mm_c = \frac{K_c \cdot d_{c1}}{2 \cdot \lambda_l}; \quad mm_d = \frac{K_d \cdot d_{d1}}{2 \cdot \lambda_s}. \quad (10)$$

Теперь рассчитываем комплексы:

$$R_c = \frac{\Phi_c \tau_c \frac{d\Phi_c^{-1}}{d\tau_c} + 1}{\Phi_c}; \quad R_d = \frac{\Phi_d \tau_d \frac{d\Phi_d^{-1}}{d\tau_d} + 1}{\Phi_d}. \quad (11)$$

Введем отношения коэффициентов:

– теплопередачи 
$$K = \frac{K_c}{K_d}; \quad (12)$$

– плотностей 
$$\rho = \frac{\rho_l}{\rho_s}, \quad (13)$$

перепадов между температурой плавления и температурами теплоносителя на входе в ячейку ТН

$$\Theta_i = \frac{T_{ci} - T_m}{T_m - T_{di}}. \quad (14)$$

В зависимости от конструкции ТН возможны случаи наличия или отсутствия конвекции в расплаве.

В случае чистой теплопроводности, безразмерные скорости передвижения границы фазового перехода будут определяться [5]:

$$\bar{w}_c = -0,5 \frac{N_c + 1}{\tau_c \cdot \eta_c} + \sqrt{\left(0,5 \frac{N_c + 1}{\tau_c \cdot \eta_c}\right)^2 + \frac{1}{R_c \cdot \tau_c}}; \quad (15)$$

$$\bar{w}_d = -0,5 \frac{(N_d + 1)\eta_d}{\tau_d} + \sqrt{\left(0,5 \frac{(N_d + 1)\eta_d}{\tau_d}\right)^2 + \frac{1}{R_d \cdot \tau_d}}. \quad (16)$$

При наличии конвекции, формулы безразмерной скорости передвижения границы фазового перехода будут иметь вид:

$$\bar{w}_{conv,c} = \frac{1 - \exp(-N_c)}{N_c \cdot R_c} \eta_c; \quad \bar{w}_{conv,d} = \frac{1 - \exp(-N_d)}{N_d \cdot R_d \cdot \eta_d}. \quad (17)$$

После чего определяем коэффициент направленности процесса в случае:

– теплопроводности 
$$\bar{v} = \frac{\bar{w}_c \cdot K}{\bar{w}_d \cdot \rho} \Theta_i; \quad (18)$$

– конвекции 
$$\bar{v} = \frac{\bar{w}_{conv,c} \cdot K}{\bar{w}_{conv,d} \cdot \rho} \Theta_i. \quad (19)$$

Если  $\bar{v} > 1$ , то ТН находится в состоянии заряда;  $\bar{v} < 1$  – ТН находится в состоянии разряда;  $\bar{v} = 1$  – ТН находится в равновесном состоянии. Дальнейшие расчеты осуществляются с учетом установленного процесса.

Отметим, что в некоторых случаях могут возникать определенные трудности при расчете ячеек сложной формы. Так, в рассматриваемых примерах формулы (8), (9) и (15)-(17) взаимозависимы. Следовательно, проектанту нужно будет предпринять дополнительные расчетные шаги для определения безразмерной скорости передвижения границы фазового перехода. Если ячейка сферическая, то решение может быть найдено аналитически. При цилиндрической геометрии ячейки с ТАМ приходится прибегать к приближенным методам решения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кукис, В.С. Совершенствование поршневых двигателей внутреннего сгорания / В.С. Кукис, В.А. Романов. -Saarbrücken: Palmarium Academic publishing, 2012. -395 с.
- 2 Уокер, Г. Двигатели Стирлинга / Г. Уокер. -М.: Машиностроение, 1985. -216 с.
- 3 Ридер, Г. Двигатели Стирлинга / Г. Ридер, Ч. Хупер. -М.: Мир, 1986. -464 с.
- 4 Шульгин, В.В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств / В.В. Шульгин. -СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. -268 с.
- 5 Шульгин, В.В. Основы проектирования тепловых накопителей энергии / В.В. Шульгин. -Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. -240 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *тепловой накопитель, режим работы, двигатель Стирлинга*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Куколев Максим Игоревич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»*  
*Кукис Владимир Самойлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ЮГУ НИ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

Вильдяева Светлана Николаевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»  
195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»  
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, ФГБОУ ВПО «ЮУГУ НИ»

## К РАЗРАБОТКЕ ВИБРОИЗОЛЯТОРА С КОМПЕНСАТОРОМ ЖЕСТКОСТИ НА ОСНОВЕ СУПЕРМАГНИТОВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Е.Г. Гурова, С.В. Макаров, А.А. Сергеев, А.Д. Петушкова, В.С. Азизов,  
А.О. Колинченко, И.С. Дымов

TO DEVELOPMENT VIBRATION ISOLATOR WITH COMPENSATOR RIGIDITY ON THE BASIS OF SUPERMAGNETS

Novosibirsk state academy of water transport

Novosibirsk state technical university

E.G. Gurova, S.V. Makarov, A.A. Sergeev, A.D. Petushkova, V.S. Azizov, A.O. Kolinchenko, I.S. Dymov

Proposed the construction of an effective vibroisolating device based on neodymium magnets, which with small dimensions have considerable pulling force.

Keywords: vibration, vibration isolation, stiffness compensator, supermagnets

Предложена конструкция эффективного виброизолирующего устройства на основе неодимовых магнитов, которые при небольших габаритах имеют значительные тяговые усилия.

В современном мире транспортными средствами ежедневно пользуется каждый человек, невольно попадая под вредное влияние вибрации, создаваемых энергетическими установками на транспорте. Длительное воздействие колебаний на организм человека приводит к ряду заболеваний: нарушение координации движения, потерю чувствительности и нарушение функций центральной нервной системы, что приводит к вибрационной болезни. Так же вибрационные колебания вредно влияют на надежность и работоспособность машин и их составляющих [1, 2].

Различными научными коллективами разработано множество способов уменьшения вибрации: активные виброзащитные системы с дополнительным источником вибрации, динамическое уравнивание двигателей, применение динамических гасителей колебаний т.д. Использование перечисленных способов не позволяет эффективно исключить механические колебания из-за присутствующих недостатков, таких как, трение, дополнительные силы инерции, сложность конструкции, большие габариты, что затрудняет их установку и требует дополнительного места или для работы необходим дополнительный источник энергии. Сегодня самый распространенный способ снижения уровней вибрации является применение пассивных виброизоляторов, например, резино-металлических амортизаторов, металлических пружин и рессор. Однако они малоэффективны при изменяющихся вибрационных колебаниях, так как рассчитаны на определенную нагрузку. Наиболее перспективным следует считать - использование виброизолирующих устройств с перестраиваемыми компенсаторами жесткости [2, 3]. Такие виброизоляторы представляют собой упругий элемент и включенный параллельно ему компенсатор жесткости. Такие устройства (рисунок 1) по теории виброизоляции позволяют максимально исключить механические колебания [3, 4].

На сегодняшний день учеными разработано несколько устройств с компенсаторами жесткости: механические, гидравлические и электромагнитные [4, 5]. Наиболее эффективным из известных компенсаторов, следует считать, электромагнитный корректор жесткости, обладающий рядом преимуществ на другими компенсаторами. Несмотря на их эффектность

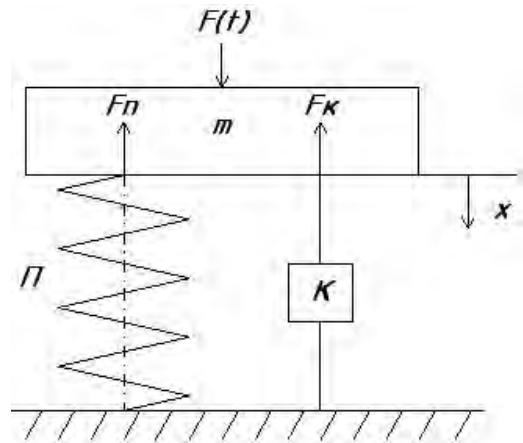


Рисунок 1 – Кинематическая схема виброизолятора с компенсатором жесткости

снижения вибрации, область их применения ограничивается значительными габаритами.

В данной работе предлагается в компенсаторе жесткости вместо электромагнитов использовать более эффективные устройства – супермагниты [6, 7]. Применение их в виброизолирующих устройствах является целесообразным, так как тяговое усилие супермагнитов значительно выше применяемых ранее электромагнитов постоянного тока [7], при этом габариты неодимовых магнитов значительно меньше при одинаковых исходных данных. Применение супермагнитов позволит уменьшить размеры виброизолирующих устройств и упростить их установку на любом виде транспорта.

Предложен вариант конструкции виброизолятора с компенсатором жесткости на основе супермагнитов (разработка поддержана грантом Мэрии для молодых ученых 2013 года), которая представлена на рисунке 2.

Супермагнитный компенсатор жесткости представляет собой два металлических диска 3, жестко закрепленных на основании 6, общий якорь 4. Неодимовые магниты 5 распложены на нижнем и верхнем диске 3, а также на обоих сторонах якоря 4. Супермагниты, расположенные в плоскости якоря и стороне диска имеют разную полярность. Также можно рассматривать и отталкивающее действие, при этом полярность магнитов одинакова. Неодимовые магниты располагаются так, чтобы на каждой оси было по два магнита. Характеристика такого компенсатора жесткости имеет падающий вид, при установке его параллельно упругому элементу, что позволяет получить нулевую жесткость всего виброизолятора. Габариты таких виброзащитных устройств достаточно малы в сравнении с ранее разработанными корректорами жесткости, что значительно расширяет область их применения. Наличие или отсутствие системы перестройки компенсатора жесткости на данный момент в работе не рассмотрено, целесообразность разработки и необходимость системы перестройки в виброизолирующих устройствах с супермагнитными компенсаторами жесткости будет рассмотрена в рамках Гранта Мэрии для молодых ученых 2013 года.

В качестве примера рассмотрена виброизолирующая система для защищаемой массы 90 кг (например, водитель транспортного средства) и виброизолятор – 10 кг. По теории виброизоляции применим распределенную систему установки виброзащитных устройств. Предлагаемая схема установки виброизоляторов показана на рисунке 2.

Исходя из исходных данных работы для объекта защиты массой 90 кг необходимо девять виброзащитных устройств, каждое из которых рассчитано на защищаемую массу 10 кг. При массе значительно выше или ниже рассчитанной виброзащитное устройство будет работать по тем же принципам теории виброизоляции, однако эффективность снижения механических колебаний будет несколько снижена. Установка предлагаемых устройств защиты от вибрации позволит максимально обеспечить эффективную виброизоляцию, например, кресла водителя троллейбуса, электропоезда, тем самым защитить человека от вредного влияния вибрации.

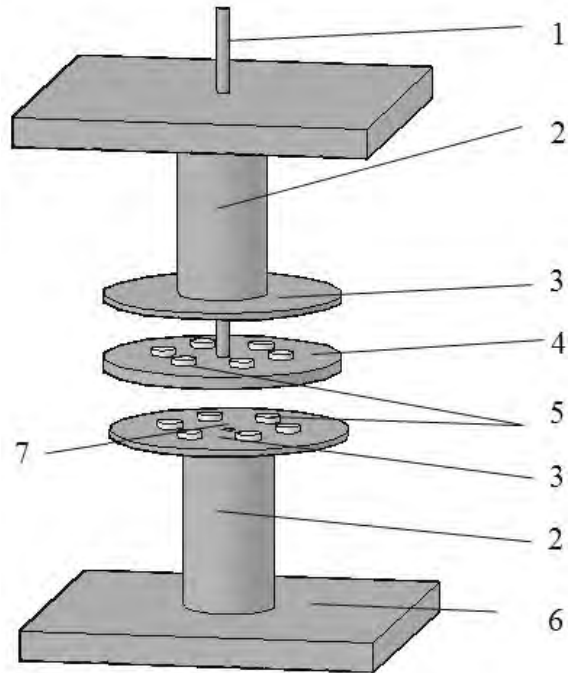


Рисунок 2 – Конструкция компенсатора жесткости на основе супермагнитов: 1-шток; 2-металлическое основание; 3-металлический диск; 4-якорь; 5-неодимовые магниты; 6-основание; 7-отверстие для штока

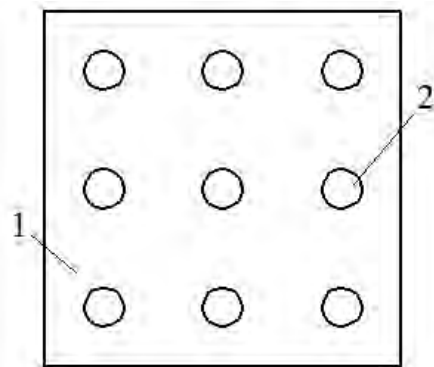


Рисунок 2 – Схема установки виброизоляторов: 1-основание кресла водителя; 2-виброизоляторы с супермагнитными компенсаторами жесткости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вибрации в технике. В 6 т. Т.6. Защита от вибрации и ударов / под ред. К.В. Фролова. -Изд. 2-е. -М.: Машиностроение, 1995. -456 с.
- 2 Зуев, А.К. Вибрации машин и пути их виброизоляции / А.К. Зуев // Вопросы виброизоляции судовых механизмов и машин: сб. науч. тр. / Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1983. -С. 6-18.
- 3 Зуев, А.А. Проблемы виброизоляции / А.А. Зуев, А.К. Зуев, В.А. Четверкин // Проблемы виброизоляции на судах: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2003. -С. 43-45.
- 4 Гурова, Е.Г. Виброизолирующие подвески транспортных энергетических установок с нелинейными электромагнитными компенсаторами жесткости / Е.Г. Гурова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2012. -156 с.
- 5 Пат. 004696 Российская Федерация. Виброизолятор с электромагнитным компенсатором жесткости / Е.Г. Гурова, В.Ю. Гросс (РФ); ФГОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. вод. трансп.». - №2011103409/11; заявл. 31.01.11. -4 с.: ил.
- 6 Сливинская, А.Г. Электромагниты и постоянные магниты: учеб. пособие / А.Г. Сливинская; отв.ред. М.Г. Бородина. -М.: Энергия, 1972. -248 с.
- 7 Гурова, Е.Г. Применение супермагнитов в устройствах виброзащиты подвижного состава / Е.Г. Гурова // Изв. Транссиба. -Омск, 2013. -С. 30-34.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *вибрация, виброизоляция, компенсатор жесткости, супермагниты*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Гурова Елена Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Макаров Станислав Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»*  
*Сергеев Андрей Анатольевич, студент ФГБОУ ВПО «НГТУ»*  
*Петушкова Анастасия Дмитриевна, студент ФГБОУ ВПО «НГТУ»*  
*Азизов Виталий Сергеевич, студент ФГБОУ ВПО «НГТУ»*  
*Колинченко Артем Олегович, студент ФГБОУ ВПО «НГТУ»*  
*Дымов Илья Сергеевич, студент ФГБОУ ВПО «НГТУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

**ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕКТРА СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ПОДВЕСКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА  
 ВАРЬИРОВАНИЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЖЕСТКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
 ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева**

**OPTIMIZATION OF THE NATURAL FREQUENCIES OF THE SUSPENSION RIGID BODY BY VARYING THE GEOMETRICAL AND STIFFNESS PARAMETERS OF ISOLATORS**  
 Novosibirsk state academy of water transport  
 P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva

The article explored the question of optimizing the spectrum of natural frequencies for the case of installation of the object on four vi-broisulators. The proposed method of optimization allows you to collect a range of eigenfrequencies of the system of vibration isolation engines in a fairly narrow scope, which leads to improvement of vibration-damping and vibro-acoustic characteristics of the engine.

*Keywords: optimization of suspension insulators*

Исследован вопрос оптимизации спектра собственных частот для случая установки виброизолированного объекта на четырех ПВО. Предлагаемый метод оптимизации позволяет собирать спектр собственных частот системы виброизоляции двигателей в достаточно узкую область, что приводит к улучшению виброизолирующих и виброакустических характеристик двигателя.

Среди требований к виброизоляции важнейшим является требование к диапазону расположения собственных частот колебаний. Исследуем подвеску твердого тела на упругих ПВО как наиболее перспективных виброзащитных системах СЭУ нового поколения [1].

Задачу оптимизации будем решать для случая установки виброизолированного объекта на четырех ПВО, установленных таким образом, что две любые стоящие опоры попарно симметричны. Оптимизируемыми параметрами являются координаты и углы установки опор.

Задача стабилизации сводится к отношению таких параметров, при которых принимает минимальное значение целевая функция [2]:

$$W = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0}, \tag{1}$$

где  $f_{\max}, f_{\min}$  – соответственно максимальная и минимальная частоты из спектра собственных частот;

$f_0$  – базовая частота

$$f_0 = \sqrt{f_{\max} \cdot f_{\min}}$$

Частоту  $f_0$  выбираем из дополнительных условий, например в полосе частот с минимальным уровнем внешнего возбуждения. Заметим, что решение задачи оптимизации является инвариантным к значению базовой частоты.

Идеальным результатом оптимизации было бы обращение целевой функции (1) в нуль, но реальные условия установки виброизоляторов, соотношения между их главными жесткостями и радиусами инерции твердого тела не всегда позволяют достичь такого результата.

Решение задачи оптимизации происходит в два этапа: на первом находим оптимальные координаты и углы установки основных виброизоляторов, на втором – аналогичные параметры для дополнительных виброизоляторов, представляющих собой дополнительные жесткости, установленные в плоскости, параллельной плоскости OXY, наложенные на виброизолируемый объект в точках крепления основных виброизоляторов.

Рассмотрим твердое тело с четырьмя виброизоляторами в виде ПВО (рисунок 1) без опор 5 и 6. Опоры расположены симметрично относительно плоскостей OXY и OYZ.

Обозначим координаты геометрического центра опоры 1 (рисунок 1б) через  $a_x, a_y, a_z$ ; главные жесткости опоры – через  $c_r, c_p, c_q$ . Направления векторов главных жесткостей опоры заданы, как и ранее, таким образом:  $c_r$  направлена вдоль оси опоры,  $c_p$ , расположена в вертикальной плоскости (параллельной оси Oz) и направлена перпендикулярно  $c_r$ ,  $c_q$  – в плоскости OXY и направлена перпендикулярно  $c_p$  и  $c_r$ . Угол наклона оси опоры  $r$  к оси Oz обозначим  $\varphi$ , угол между осями  $q$  и Oy обозначим  $\lambda$ .

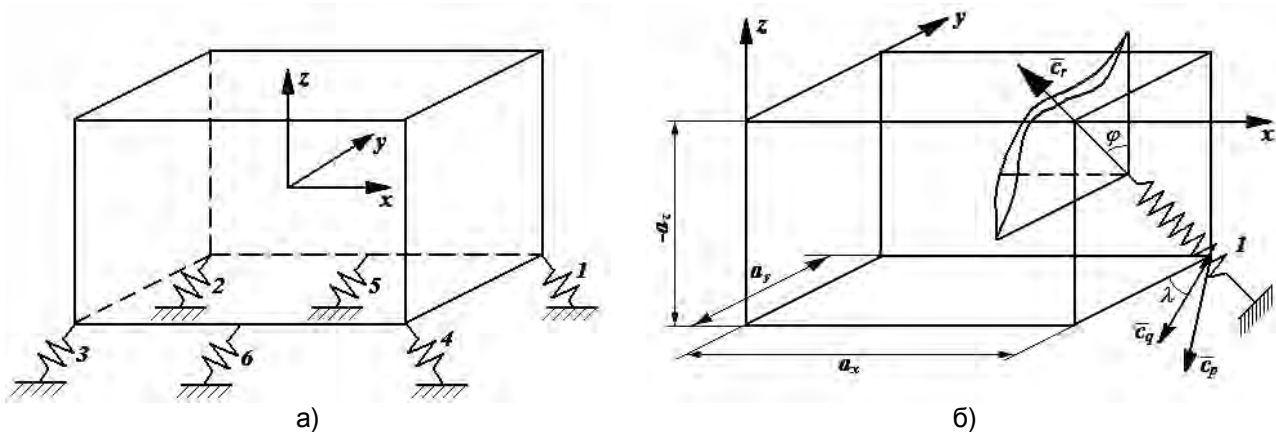


Рисунок 1 – Твердое тело с четырьмя виброизоляторами в виде ПВО

При решении первого этапа оптимизации (виброизолируемый объект на четырех виброопорах) главные жесткости ПВО находим из соотношений [1]:

$$C_r = \frac{\rho_0 \gamma S Q^2 H^n}{x \left[ 2g \rho_0 k^2 \mu^2 S_0^2 H^n + \gamma Q^2 (H-x)^n \right]}; C_p = C_q = \frac{C_r}{3}. \quad (2)$$

При решении первого этапа задачи в качестве варьируемых параметров выбраны углы установки виброизоляторов  $\varphi$  и  $\alpha$ , а также координаты геометрического центра опоры  $a_x, a_y, a_z$ . Варьируя эти параметры находим величины главных жесткостей по формуле (2). Затем определяем значения элементов матриц жесткости, после чего находим спектр собственных частот, и по формуле (1) вычисляем значение целевой функции.

Когда из условия минимума целевой функции выбраны оптимальные значения варьируемых параметров, можно провести второй этап оптимизации, то есть попытаться еще больше сжать спектр собственных частот за счет установки дополнительных виброизоляторов, изменяя определенные компоненты матриц жесткости. Варьируемыми параметрами на втором этапе будут жесткости и координаты установки дополнительных ПВО.

Задача о сжатии спектра для виброизолируемого объекта решалась со следующими исходными данными: масса объекта  $m = 400$  кг, радиусы инерции  $\rho_x = 0,82$  м,  $\rho_y = 1,44$  м,  $\rho_z = 0,99$  м.

При решении первого этапа задачи оптимизации в качестве варьируемых параметров

были выбраны углы  $\varphi$  и  $\alpha$  (изменяющиеся таким образом:  $0^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$ ;  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ) и координаты геометрического центра опоры  $a_x, a_y, a_z$ , которые изменялись:  $0,4 \leq a_x \leq 0,55$ ;  $0,5 \leq a_y \leq 0,61$ ;  $0,35 \leq a_z \leq 0,7$  м.

Решение первого этапа задачи дает спектр собственных частот, соответствующий минимуму целевой функции  $W_{\min} = 0,795$ :

$$f_1 = 1,46; f_2 = 1,08; f_3 = 1,7; f_4 = 1,28; f_5 = 2,36; f_6 = 1,09 \text{ Гц,}$$

где  $f_1, f_2$  – соответственно большая и меньшая собственная частота по связанным формам  $x$  и  $\beta$ ;

$f_3, f_4$  – частоты по связанным формам  $y$  и  $\alpha$ ;

$f_5, f_6$  – собственные частоты поступательного и углового перемещений относительно оси Oz.

Минимальное значение целевой функции достигается при  $a_x = 0,55$  м;  $a_y = 0,55$  м;  $a_z = 0,35$  м;  $\varphi = 13,3^\circ$ ;  $\lambda = 30^\circ$ .

Зависимость целевой функции  $W$  от углов  $\varphi$  и  $\lambda$  при перечисленных значениях  $a_x, a_y, a_z$  показана на рисунке 2.

Из рисунка видно, что наименьшая собственная частота спектра  $f_2$  меньше наибольшей собственной частоты  $f_5$  более чем в 2 раза.

На втором этапе попытаемся приблизить к максимальной частоте  $f_5$  значения остальных собственных частот спектра. Этого можно добиться путем установки дополнительных ПВО в плоскости, параллельной ОХУ, имеющих главные жесткости  $C_r^d$  и  $C_q^d$  ( $C_p^d = 0$ ).

В этом случае алгоритм расчета остается прежним, хотя варьируются параметры  $C_r^d, C_q^d$  и  $a_z^d$  ( $a_z^d$ -координата плоскости установки дополнительных виброизоляторов).

Дополнительные ПВО установлены таким образом, что  $C_z^d = 0$  (собственная частота  $f_5$  не повышается). В результате удалось понизить минимум целевой функции  $W_{\min} = 0,767$  со следующим спектром собственных частот:

$$f_1 = f_3 = 2,35; f_2 = 1,11; f_4 = 1,6; f_5 = 2,36; f_6 = 1,82 \text{ Гц.}$$

Эти результаты получены при  $C_r^d = 14$  кН/м;  $C_q^d = 13,3$  кН/м и  $a_z^d = 0$ .

Если же при этих значениях  $C_q^d$  и  $a_z^d$  проварьировать угол  $\lambda^d$  от 0 до  $180^\circ$ , то при  $\lambda^d = 138^\circ$  целевая функция имеет минимум  $W_{\min} = 0,666$ , а наибольшая и наименьшая частоты будут равны  $f_5 = 2,36$  и  $f_2 = 1,22$  Гц.

Из рассмотренного видно, что хотя минимальное значение целевой функции и разброс собственных частот изменились мало, удалось повысить практически все собственные частоты. Таким образом, предлагаемый метод оптимизации позволяет собирать спектр собственных частот системы виброизоляции двигателей в достаточно узкую область, что приводит к улучшению виброизолирующих и виброакустических характеристик двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Фомичев, П.А. Виброизолирующие гидравлические опоры нового поколения / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. -190 с.  
2 Коловский, Е.М. Оптимизация нелинейных виброзащитных систем / Е.М. Коловский // Управляемые механические системы: межвуз. сб. науч. тр. / ИПИ. -Иркутск, 1999. -С. 4-13.

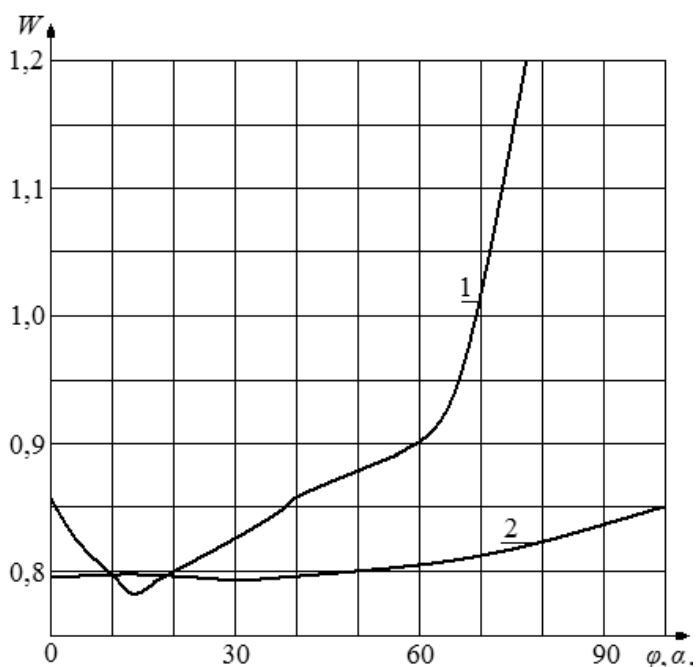


Рисунок 2 – Зависимость целевой функции  $W$  от углов  $\varphi$  и  $\lambda$  (1-при постоянном  $\lambda = 30^\circ$ , 2-при постоянном  $\varphi = 13,3^\circ$ )

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оптимизация подвески виброизоляторов  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЗАПУСКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**С.В. Макаров, Е.Г. Гурова, А.В. Мятаж, А.В. Бахвалова, О.А. Филатова**

### **MATHEMATICAL MODELS OF PROCESSES START THE DIESEL ENGINE DIESEL LOCOMOTIVES**

Novosibirsk state academy of water transport

Novosibirsk state technical university

S.V. Makarov, E.G. Gurova, A.V. Myatezh, A.V. Bakhvalova, O.A. Filatova

In this article - the ability to use a capacitor bank systems start the diesel engine shunting locomotives. The mathematical model of the process of starting diesel engines.

*Keywords: diesel engine, rechargeable battery, a capacitor bank*

Рассмотрена возможность применения блока конденсаторов в системе запуска дизельных двигателей маневровых тепловозов. Описана математическая модель процесса запуска дизельных двигателей.

Движение поездов на ЖД транспорте осуществляется с помощью тягового подвижного состава (локомотивы и мотор-вагонный подвижной состав). В качестве локомотивов применяют тепловозы и электровозы, работающие соответственно на не электрифицированных и электрифицированных участках пути. Различные типы маневровых тепловозов широко используются на территории РФ для передвижения грузов. В парке железнодорожного состава России более 20 тыс. тепловозов. В настоящее время проблема рационального расходования энергоресурсов выдвигает на первый план разработку, создание и модернизации уже существующих типов тепловозов. Одним из направлений решений этой задачи является использование комбинированной энергоэффективной системы запуска дизельных двигателей от блока конденсаторов.

Возможность применения блока конденсаторов в системах запуска тепловозов доказана в работах [1-3]. Анализ отечественной и зарубежной литературы позволяет выделить 4 основных конфигурации комбинированных систем запуска. Ниже представлена классификация и краткое описание систем.

*Вариант 1.* Стартерный двигатель в момент запуска получает питание только от блока конденсаторов. Данная топология позволяет обеспечить эффективный запуск дизельного двигателя и уменьшить емкость аккумуляторной батареи. Однако окончательно отказаться от аккумуляторной батареи не представляется возможным в связи с наличием потребителей собственных нужд, которые работают даже при выключенном двигателе (лампы освещения, электронагревательные приборы и т.д.). Питание их от блока конденсаторов невозможно. С другой стороны в процессе заряда аккумуляторной батареи от генератора с регулятором напряжения накладывается ограничение на минимальную емкость аккумуляторной батареи. Это ограничение связано со значением допустимого зарядного тока  $I_{ЗАР}$ , которое составляет (0,2...0,3)С для щелочных аккумуляторных батарей [4, 5] и (0,10...0,15)С для кислотных аккумуляторных батарей [4]. При нормальной работе регулятора напряжение, прикладываемое к аккумуляторной батарее, составляет 75 В при токе заряда 40-50 А (для тепловоза ТЭМ-2 [6]). Таким образом, минимальная емкость аккумуляторной батареи по условиям заряда может определяться по выражению

$$C_{ЗАР} = \frac{I_{ЗАР}}{0,1...0,2} = \frac{40...50}{0,1...0,2} = 200... 500 \text{ А/ч.}$$

Несоблюдение ограничений приведет к закипанию электролита аккумуляторной батареи

в процессе подзарядки и ускоренному износу электродов, что, в конечном итоге, приведет к сокращению срока эксплуатации аккумуляторной батареи. Таким образом, использование данной топологии комбинированной системы возможно, но требует дополнительных исследований.

*Вариант 2.* Стартерный двигатель в момент запуска сначала получает питание от аккумуляторной батареи, а затем от блока конденсаторов. Данный вариант совместной работы аккумуляторной батареи и блока конденсаторов малоэффективен так как блок конденсаторов в такой топологии не выполняет своих главных функций – разгрузка аккумуляторной батареи от пиковых токов.

*Вариант 3.* Стартерный двигатель в момент запуска получает питание от параллельно подключенных источников энергии: блока конденсаторов и аккумуляторной батареи.

В данной топологии эффект от блока конденсаторов будет минимальным в силу того, что внутренние сопротивления аккумуляторной батареи и блока суперконденсаторов примерно равны, а напряжение блока конденсаторов будет снижаться по мере разряда

$$U_c(t) = -\frac{1}{C_{БК}} \int_0^t i(t) dt,$$

где  $U_c(0)$  – начальное напряжение блока конденсаторов;

$i(t)$  – разрядный ток блока конденсаторов;

$C_{БК}$  – электрическая емкость блока конденсаторов.

Скорость разряда блока конденсаторов будет зависеть от мгновенного значения разрядного тока. В силу того, что в первые секунды пуска ток превышает значение 1500 А, напряжение блока конденсаторов сразу станет ниже начального напряжения аккумуляторной батареи, что приведет к перераспределению большей части тока на аккумуляторной батарее. Поэтому блок конденсаторов компенсирует лишь небольшую часть токовой нагрузки на аккумуляторной батарее, что подтверждается результатами исследований работы такой системы в статье [2].

*Вариант 4.* Стартерный двигатель в момент запуска получает питание от блока конденсаторов, а после спада пика тока происходит переключение питания на аккумуляторную батарею (двухэтапная система запуска).

Такая конфигурация эффективна так как аккумуляторная батарея не нагружается пиковыми токами, что должно значительно снизить требуемую емкость аккумуляторной батареи и повысить её ресурс.

Из анализа возможных конфигураций комбинированной системы запуска дизельного двигателя тепловоза можно сделать вывод, что наиболее перспективными являются варианты 1 и 4.

Использование различных пакетов прикладных программ для решения задач технических вычислений, дает возможность промоделировать процессы, протекающие при запуске дизельного двигателя тепловоза. Однако в этом случае, построенные зависимости тока и напряжения от времени могут отличаться от снятых осциллограмм тока и напряжения, протекающих при запуске. Это связано с наличием различных помех и переходных процессов в силовых элементах системы запуска тепловоза.

Ниже представлены математические выкладки по расчету необходимых параметров для моделирования процесса разряда блока конденсаторов на цепь стартера (схема замещения цепи разряда блока конденсаторов представлена на рисунке 1).

По второму закону Кирхгофа

$$\frac{1}{C} \int i(t) dt + i(t)(R_c + R_{\delta\sigma}) + L_{\delta\sigma} \frac{di(t)}{dt} + cf = U_0,$$

где  $R_{\delta\sigma}$  – активное сопротивление стартера;

$R_c$  – внутренне сопротивление цепи конденсатора и контактов;

$L_{\delta\sigma}$  – индуктивность стартера;

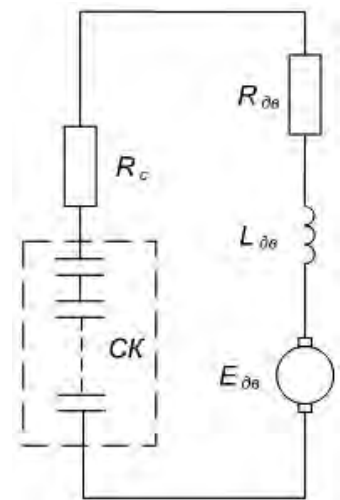


Рисунок 1 – Схема замещения цепи разряда блока конденсаторов



$c$  – приведенная машинная постоянная стартера.

Дифференцируя левую и правую часть уравнения, получим

$$\frac{1}{C}i(t) + \frac{di(t)}{dt}(R_c + R_{\partial\partial}) + L_{\partial\partial} \frac{d^2i(t)}{dt^2} + c \frac{df(t)}{dt} = 0.$$

Учитывая, что

$$f = \omega/2\pi,$$

и

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = M_{\partial\partial} - M_H(\omega, \varphi) = ci - M_H(\omega, \varphi),$$

получим

$$\frac{1}{C}i(t) + \frac{di(t)}{dt}(R_c + R_{\partial\partial}) + L_{\partial\partial} \frac{d^2i(t)}{dt^2} + \frac{c}{2\pi J} [ci(t) - M_H(\omega, \varphi)] = 0.$$

Иначе можно записать в канонической форме:

$$\begin{cases} L_{\partial\partial} \frac{d^2i(t)}{dt^2} + (R_c + R_{\partial\partial}) \frac{di(t)}{dt} + \left( \frac{1}{C} + \frac{c^2}{2\pi J} \right) i(t) - \frac{cM_H(\omega, \varphi)}{2\pi J} = 0; \\ \varphi(t) = \int \omega(t) dt. \end{cases}$$

Решение дифференциального уравнения может быть выполнено с использованием различных математических пакетов. В данном случае выбран математический пакет MathCad, при решении использован численный метод решения дифференциальных уравнений, согласно которому производные функций заменяются приближенными отношениями приращений

$$L_{\partial\partial} \left( \frac{i_2 - 2i_1 + i_0}{\Delta^2} \right) + (R_c + R_{\partial\partial}) \frac{i_1 - i_0}{\Delta} + \left( \frac{1}{C} + \frac{c^2}{2\pi J} \right) i_0 - \frac{cM_H(\omega, \varphi)}{2\pi J} = 0.$$

Новое значение тока по известным предыдущим значениям

$$i_2 = i_1 \left[ 2 - \frac{\Delta(R_c + R_{\partial\partial})}{L_{\partial\partial}} \right] - i_0 \left( 1 + \frac{\Delta^2}{L_{\partial\partial}C} + \frac{c^2\Delta^2}{2\pi J L_{\partial\partial}} - \frac{(R_c + R_{\partial\partial})\Delta}{L_{\partial\partial}} \right) + \frac{c\Delta^2 M_H(\omega, \varphi)}{2\pi J L_{\partial\partial}}.$$

Так как цепь содержит последовательно включенную индуктивность, то ток после коммутации равен току до коммутации, то есть нулю

$$i_0 = 0.$$

Ток  $i_1$  в цепи через время  $\Delta$  может быть найден как

$$i_1 = \frac{U_0\Delta}{L_{\partial\partial}} + i_0 = \frac{U_0\Delta}{L_{\partial\partial}}, \text{ (при } i_0 = 0).$$

Угловая скорость вращения ротора может быть найдена как

$$\omega_2 = \frac{ci_2 - M_H(\omega, \varphi)}{J} \Delta + \omega_1.$$

Угол положения вала

$$\varphi_2 = \omega_2\Delta + \varphi_1.$$

Функция момента  $M_H(\omega, \varphi)$ , принята опытным путем при моделировании.

Момент инерции вращающихся частей  $J$  подобран к модели опытным путем при сопоставлении времени раскручивания вала ротора модели и объекта.

На рисунке 2 представлен график переходного процесса, протекающего при запуске дизельного двигателя, построенный в математическом пакете MathCad.

Анализируя полученные переходные характеристики, протекающие при запуске дизельного двигателя, можно выделить области для каждой из полученной характеристики.

Характеристики, приведенные на осциллограмме тока, можно разбить на 4 характерные интервала:

Интервал 1 (0-0,05)с – апериодический рост тока от нуля до значения, определяемого отношением ЭДС источника к суммарному активному сопротивлению цепи пуска;

Интервал 2 (0,05-0,3) с – спад тока в связи с началом вращения якоря стартера и появлением противо-ЭДС стартера в цепи.

Интервал 3 (0,3-2,6) с – вращение ротора, останов которого приводит к снижению до нуля противо-ЭДС и росту тока.

Интервал 4 (2,6-4) с – апериодический разряд батареи конденсаторов на внутреннее сопротивление стартера, проводников и конденсаторов.

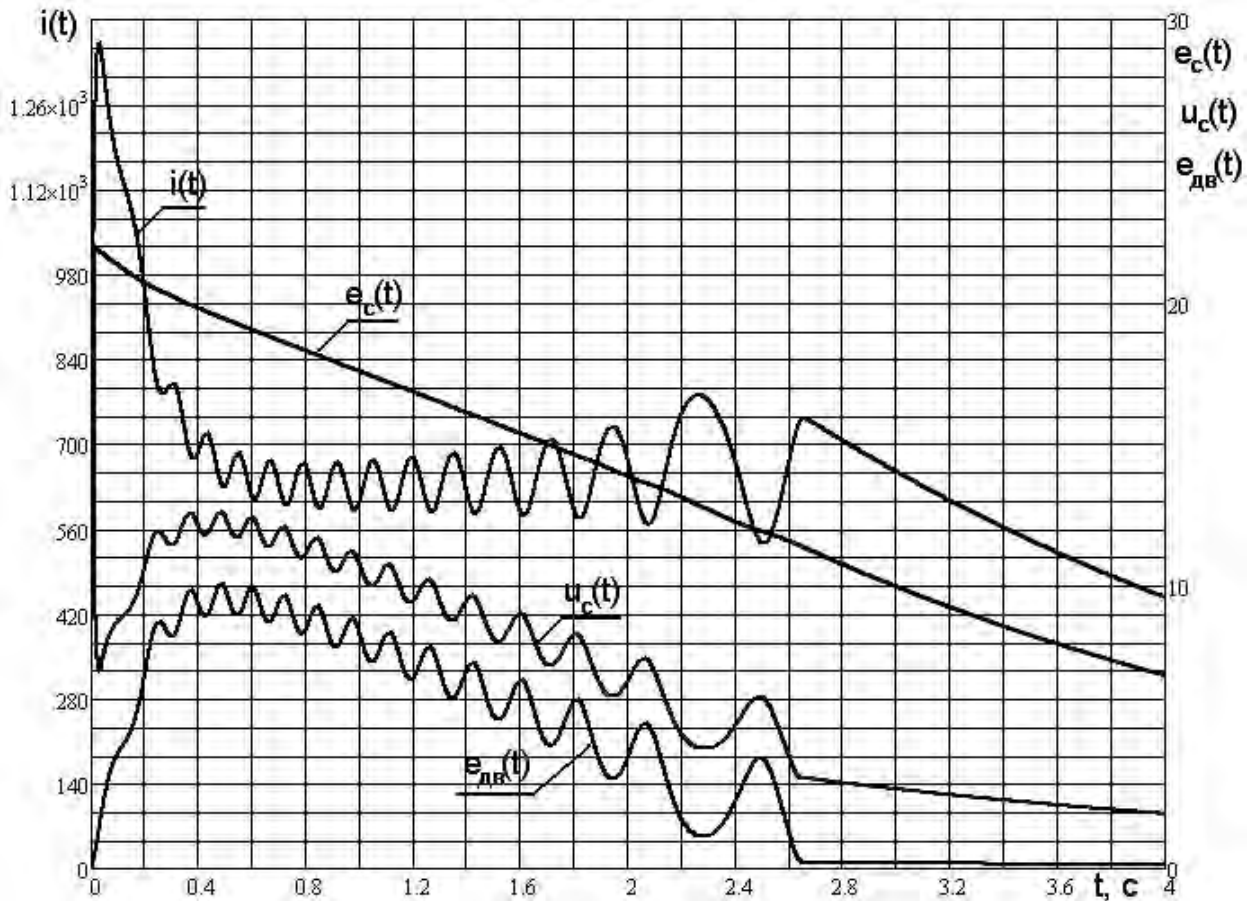


Рисунок 2 – Вольт-секундные и ампер-секундная осциллограммы запуска дизельного двигателя от блока конденсаторов

На аналогичные интервалы времени можно провести разбиение на осциллограмме напряжения:

Интервал 1 (0-0,05) с – аperiодический спад напряжения до значения, определяемого произведением активного сопротивления стартера на пиковый ток плюс незначительная противо-ЭДС стартера, начинающего вращение (которой в большинстве случаев можно пренебречь).

Интервал 2 (0,05-0,3) с – рост напряжения на клеммах стартера в связи с началом вращения якоря стартера и появлением противо-ЭДС стартера в цепи.

Интервал 3 (0,3-2,6) с – вращение ротора, останов которого приводит к снижению до нуля противо-ЭДС и спаду напряжения до уровня падения напряжения на активном сопротивлении стартера.

Интервал 4 (2,6-4) с – аperiодическое экспоненциальное снижение напряжения в результате разряда блока конденсаторов на внутреннее сопротивление стартера, проводников и конденсаторов.

График ЭДС блока конденсаторов. Блок конденсаторов имеет значительную емкость, и скорость изменения напряжения на ней определяется величиной протекающего тока

$$\frac{du_c(t)}{dt} = \frac{i(t)}{C}.$$

Закон изменения напряжения при активной нагрузке (только активные сопротивления) является экспоненциальным, и близок к нему при наличии противо-ЭДС, зависящей от механических параметров нагрузки и машинной постоянной стартера.

График ЭДС двигателя:

Интервал 1 (0-0,05) с – начало стремительного роста ЭДС под действием вращающего механического момента при пуске.

Интервал 2 (0,05-2,6) с – периодические пульсации ЭДС, обусловленные непостоянством скорости вращения ротора. Так как МПТ с серийным возбуждением работает в режиме насыщения, то связь ЭДС и скорости вращения с небольшой погрешностью может быть

представлена как линейная.

Интервал 3 (2,6-4) с – практически полный останов ротора (скорость этого диапазона зависит от соотношения сил трения скольжения и покоя).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Валеев, А.И. Комбинированная система генерации электрической энергии в режиме запуска ДВС транспортных средств / А.И. Валеев // Энергетика Татарстана. -2010. -№4(18). -С. 54-58.  
 2 Макаров, С.В. Модернизация системы пуска дизеля маневрового тепловоза ТЭМ-2 / С.В. Макаров, Е.Г. Гурова, А.В. Ледовских // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 175-178.  
 3 Рябко, К.А. Способ продления срока службы аккумуляторных батарей тепловозов путем снижения пусковых токов / К.А. Рябко // Сб. науч. тр. / ДонИЖТ. -2011. -Вып. 25. -С. 121-125.  
 4 Информация по применению щелочных никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей производства ОАО «Завод АИТ» [Электронный ресурс] // РУСБАТ: Национальная ассоциация производителей источников тока «РУСБАТ» / Компания «РУСБАТ». -[Саратов]. -Режим доступа: URL: [http://www.rusbat.com/mem\\_ait.html](http://www.rusbat.com/mem_ait.html). -10.07.2013.  
 5 Никель-кадмиевые аккумуляторы. Аккумуляторы и батареи для маневровых и магистральных тепловозов, дизель поездов [Электронный ресурс] // ЗАИТ: Завод автономных источников тока / ЗАИТ. -[Саратов]. -Режим доступа: URL: [http://www.zait.ru/sfery\\_primenenija/nikel\\_kadmijevye\\_akkumuljatory\\_kh150p\\_kh220p\\_i\\_akkumuljatornye\\_batarei\\_50kn150r\\_72kn150r\\_75kn150r\\_75kn150r\\_40kn220rk\\_iii\\_50kn220rk\\_72kn220r/](http://www.zait.ru/sfery_primenenija/nikel_kadmijevye_akkumuljatory_kh150p_kh220p_i_akkumuljatornye_batarei_50kn150r_72kn150r_75kn150r_75kn150r_40kn220rk_iii_50kn220rk_72kn220r/). -12.07.13.  
 6 Тепловоз ТЭМ-2: рук. по эксплуатации и обслуживанию ПО «Брянск. машиностроит. завод». -М.: Транспорт, 1983. -239 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дизельный двигатель, аккумуляторная батарея, блок конденсаторов  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Макаров Станислав Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 Гурова Елена Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГБВТ»  
 Мятёж Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 Бахвалова Анжелика Викторовна, студент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 Филатова Ольга Александровна, студент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГБВТ»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛИЗАТОРА СЕРЫ В НЕФТЕПРОДУКТАХ СИМ-6**

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»  
 ФГУП Государственный научный центр «Центральный научно-исследовательский институт им. акад. А.Н. Крылова»  
 Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО  
 «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Г.В. Шувалов, В.Н. Половинкин, И.В. Клековкин, О.А. Ясырова**

**RESEARCH OF INFLUENCE OF SOME FACTORS ON METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ANALYZER OF SULFUR IN SIM-6 OIL PRODUCTS**  
 Siberian research institute of metrology  
 Krylov shipbuilding research institute  
 Omsk institute of water transport, branch Novosibirsk state academy of water transport  
 G.V. Shuvalov, V.N. Polovinkin, I.V. Klekovkin, O.A. Yasyrova

Results of researches of a number of influencing factors are given in article on metrological characteristics of analyzers of sulfur of ship fuels.

*Keywords: ship fuel, metrological characteristics, sulfur analyzer*

Приведены результаты исследований ряда влияющих факторов на метрологические характеристики анализаторов серы судовых топлив.

Во всем мире, в том числе и в России, значительное внимание уделяется экологическим проблемам выбросов на морских и речных судах. Достаточно сказать, что в России действует ГОСТ Р 54299-2010 «Судовые топлива. Технические условия», который ужесточает требования к свойствам топлив по отдельным показателям. По этой же причине для повышения экологической безопасности судовых энергетических установок технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» предъявляет обязательные требования к качеству судовых топлив по показателям содержание серы и температура вспышки.

Кроме того, Россией подписана Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МК МАРПОЛ 73/78). Согласно Приложению VI МК МАРПОЛ к нормируемым компонентам отработанных газов судовых двигателей относится диоксид серы (SO<sub>2</sub>), вы-

бросы которого определяются, в первую очередь, содержанием серы в судовом топливе.

Требования к выбросам оксида серы постоянно ужесточаются, что проявляется в ограничении содержания серы в топливе: в 2012 г. содержания серы должно уменьшиться с 4,5% до 3,5%, а с 2020 г. – до 0,5%. Поэтому определение содержания серы в топливе является одним из основных анализов нефтепродуктов и проводится по ГОСТ Р 51947-2002 или ГОСТ 19121-73.

В [1] была разработана методика определения серы в нефтепродуктах с использованием кондуктометрического метода, а также прибор с ее использованием [2].

Структурная схема прибора включает в себя следующие основные элементы (рисунок 1):

- кондуктометрические ячейки 8 и 9 с электродами 10, 11;
- горелка для сжигания топлива 14;
- аспиратор 12 для прокачивания SO<sub>2</sub>;
- дозатор 15;
- генератор озона 7 с компрессором 6;
- схема измерения 2 со схемой управления 3;
- блок питания 4.

В настоящее время уже выпущено более 60 анализаторов содержания серы СИМ-6 в нефтепродуктах. Это позволило обобщить опыт эксплуатации анализаторов и выявить недостатки в их работе.

Так, в некоторых случаях при измерениях содержания серы в топливе анализаторами СИМ-6 наблюдаются вариации показаний прибора. В настоящей статье исследованы основные факторы, которые могут вызывать указанные вариации.

*Исследование влияния температуры раствора в измерительной ячейке на метрологические характеристики СИМ-6.* Для этого проводились последовательные многократные измерения содержания серы в одном и том же образце топлива. В конце каждого определения измерялась температура раствора в измерительной ячейке термометром ЛТ-300. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений содержания серы в одном и том же образце топлива анализатором СИМ-6

Номер испытания	1	2	3	4	5	6	7	8
Измеренное значение серы в топливе, %	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Температура раствора в измерительной ячейке, °С	21,6	22,4	22,7	23,2	23,2	23,3	23,7	23,7

Таблица 2 – Удельная электрическая проводимость раствора измерительной ячейки анализатора СИМ-6

Температура раствора в ячейке, °С	10,2	11,7	12,8	13,4	14,5	15,8	16,3	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0
Проводимость раствора в ячейке, мкСм/см	66,6	68,8	71,9	72,8	74,4	77,7	78,9	79,5	80,3	81,2	81,8	82,9

Из таблицы следует, что существует зависимость измеренных значений серы анализатором СИМ-6 от температуры раствора в измерительной ячейке. Оценка количественного значения температурного изменения содержания серы дает величину порядка 0,01%/°С.

Для подтверждения указанной зависимости были проведены измерения удельной электрической проводимости раствора измерительной ячейки в диапазоне изменения темпера-

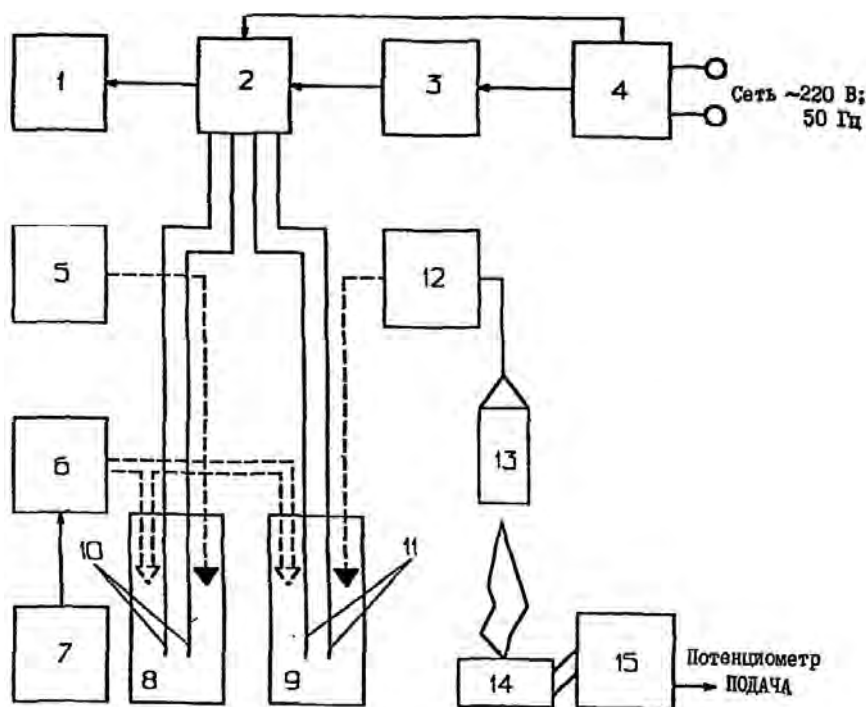


Рисунок 1 – Структурная схема анализатора СИМ-6

туры (10-20) °С с помощью анализатора жидкости «Мультитест КСЛ-101».

Результаты измерений представлены в таблице 2.

Из таблицы видно, что температурная зависимость удельной электрической проводимости раствора измерительной ячейки анализатора СИМ-6 составляет порядка 2%/°С.

*Исследование полноты поглощения диоксида серы (SO<sub>2</sub>) в растворе измерительной ячейки анализатора.* Для измерения концентрации диоксида серы SO<sub>2</sub> использовался газоанализатор «Хоббит-Т», который был укомплектован двумя датчиками для измерения диоксида серы SO<sub>2</sub> и оксида углерода CO. В первой группе измерений датчик газоанализатора устанавливался на входе перед измерительной ячейкой и измерил концентрацию диоксида серы поступающую в измерительную ячейку при сгорании топлива. При минимальной высоте пламени концентрация диоксида серы перед ячейкой составляли около 10 мг/м<sup>3</sup>, при максимальной высоте (практически, горение с копотью) – около 30 мг/м<sup>3</sup>. Результаты испытания изображены на рисунке 2.

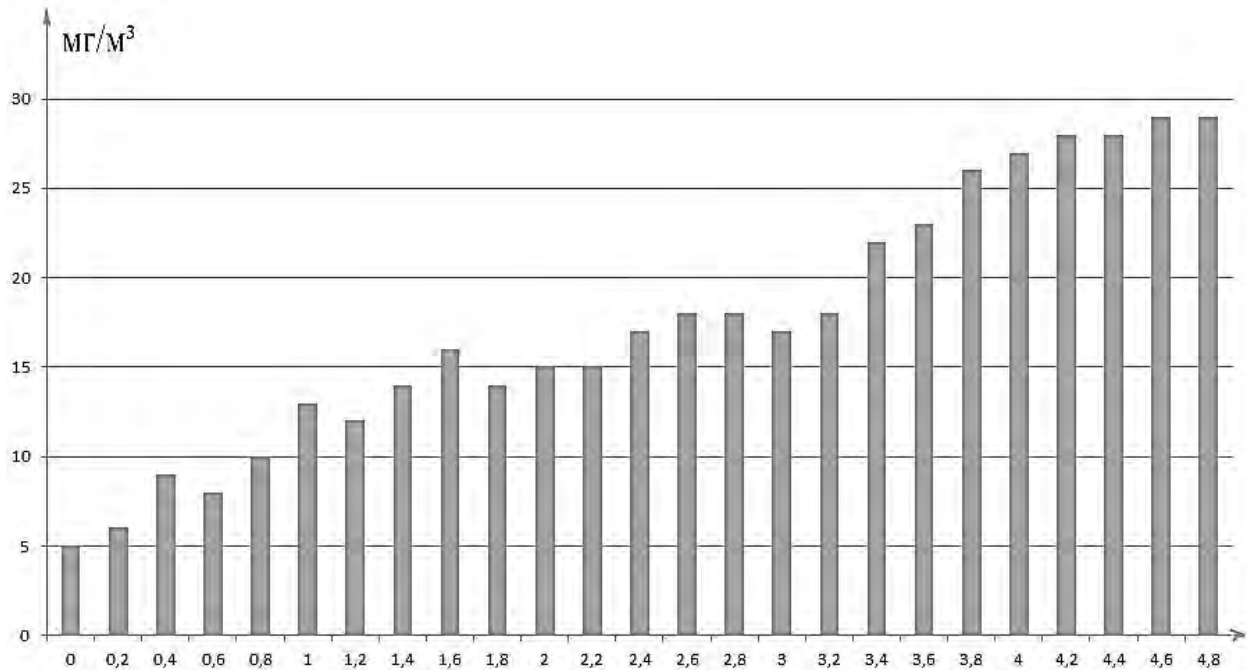


Рисунок 2 – Изменение концентрации диоксида серы (мг/м<sup>3</sup>) поступающую в измерительную ячейку от высоты пламени в горелке (мм)

Во второй группе измерений датчик газоанализатора «Хоббит-Т» устанавливался на выходе измерительной ячейкой перед компрессором. В ходе испытания этот датчик измерил концентрацию диоксида серы после его поглощения раствором в измерительной ячейке. В течение этого испытания не было зафиксировано следов SO<sub>2</sub>, что служит доказательством того, что диоксид серы SO<sub>2</sub>, проходя через измерительную ячейку, полностью растворяется в поглотительном растворе, образуя слабый раствор серной кислоты.

*Исследование влияния катализаторов на выход диоксида серы при сгорании топлива.* Использовались два типа катализаторов:

- проволока с напылением платинового катализатора, установленная на конце иголки для удобства проведения опыта;
- каталитическая сетка с оксидом тория и оксидом церия (рисунок 3).

В ходе испытания изменений концентрации диоксида серы SO<sub>2</sub>, с катализатором и без него, зафиксировано не было, но при взаимодействии пламени горелки с сеточкой газоанализатор зафиксировал превышение выделения оксида углерода CO. Ес-

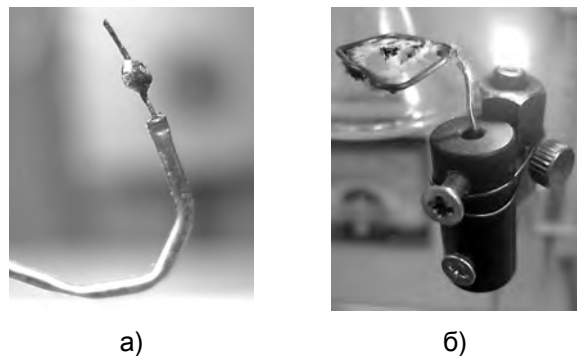


Рисунок 3 – Катализаторы для окисления топлива при горении: а)-платиновый катализатор; б)-катализатор в виде сетки

ли без сеточки концентрация СО при горении топлива не превышала 230 мг/м<sup>3</sup>, то в данном случае она достигала 780 мг/м<sup>3</sup>. Можно предположить, что при наличии катализатора в виде сеточки происходит более полное сгорание топлива, однако на выход диоксида серы это не оказывает влияния.

Таким образом, проведенные исследования показали, что основным фактором, оказывающим влияние на метрологические характеристики анализатора СИМ-6, является температура раствора в измерительной ячейке. Оценка количественного значения температурной поправки на результат измерения серы дает величину порядка 0,01%/°С.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шувалов, Г.В. Прибор для определения соединений серы в нефтепродуктах / Г.В. Шувалов // Материалы 6 международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2002»: сб. тр. -Новосибирск, 2002. -Т.3. -С. 135-137.

2 Шувалов, Г.В. Опыт практического применения анализаторов СИМ-6 для определения серы в нефтепродуктах / Г.В. Шувалов // Материалы 6 международной выставки и научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2010»: сб. тр. -Новосибирск, 2010. -Т.5, Ч.2. -С. 155-158.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *судовое топливо, метрологические характеристики, анализатор серы*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора, ФГУП «СНИИМ»  
Половинкин Валерий Николаевич, докт. техн. наук, референт директора ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»  
Клековкин Иван Владимирович, заместитель начальника лаборатории ФГУП «СНИИМ»  
Ясырова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»  
196158, г.Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»  
644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА С ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ**

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»  
ФГУП Государственный научный центр «Центральный научно-исследовательский институт им. акад. А.Н. Крылова»  
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Г.В. Шувалов, В.Н. Половинкин, А.П. Ильин, Д.В. Тихонов, И.В. Клековкин, О.А. Ясырова**

### **RESEARCH OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF ENGINE OIL WITH THE RESTORING ADDITIVE**

Siberian research institute of metrology  
Krylov shipbuilding research institute  
National research Tomsk polytechnic university  
Omsk institute of water transport, branch Novosibirsk state academy of water transport  
G.V. Shuvalov, V.N. Polovinkin, A.P. Ilyin, D.V. Tichonov, I.V. Klekovkin, O.A. Yasyrova

Results of researches of influence of a restoring additive are given in article on physical and chemical properties of modified oil product.

*Keywords: the nanopowder, restoring additive, physical and chemical properties*

Приведены результаты исследований влияния восстанавливающей добавки на физико-химические свойства модифицируемого нефтепродукта.

Нанопорошки металлов являются наиболее широко используемыми первичными наноматериалами. Это связано с тем, что для использования нанопорошков, в большинстве случаев, не требуется дополнительного технологического оборудования. Такая нанопродукция изготавливается путем добавления нанопорошка (наномодификатора) в существующий технический или иной продукт. По такой технологии изготавливаются добавки для подкормки растений и сельскохозяйственных животных, краски и лаки, косметические средства и т.д. К подобным системам относятся и различного рода трибологические составы, которые в последнее время широко используются для повышения срока службы машин и механизмов в виде металлоплакирующих смазочных материалов. Под металлоплакированием подразуме-

вается процесс нанесения на поверхности трения пленки металла из смазочного материала, натирание его на материал основы и закрепления его за счет адгезии, диффузии и химического взаимодействия с основным материалом. При использовании металлоплакирующих смазочных материалов на поверхностях пар трения образуются тонкие пленки металлов (сервовитные пленки) [1]. Ряд исследований показали, что применение нанопорошков (НП) металлов дает ряд преимуществ по сравнению с более крупными порошками [2, 3], так как нанопорошки имеют малую скорость седиментации в маслах и предрасположенность к спеканию, что приводит к образованию сплошных пленок.

Ранее проведенные исследования показывают, что при добавлении НП железа в количестве 0,3% (масс.) в масло МГ-10Ги во всем диапазоне нагрузок наблюдалось снижение коэффициента трения до 30-40% по сравнению с исходным маслом [4]. Также установлено, что при малых содержаниях 0,01-0,05% (масс.) НП железа, меди, сплава железо-медь (25%) в масле наиболее существенным является снижение коэффициента трения, а при высоких – уменьшение износа.

В настоящее время известно большое количество различных наномодификаторов и добавок для металлоплакирующих составов и готовых к применению металлоплакирующих смазочных составов. Например, известен противоизносный наномодификатор «Стрибойл». Он используется в качестве добавки в смазочные материалы для получения в процессе эксплуатации защитного покрытия, компенсирующего износ деталей узлов трения механизмов (двигателей внутреннего сгорания, дизелей, компрессоров, подшипников и пр.) при проведении приработки или восстановительного ремонта.

Известны металлоплакирующие смазочные составы, из которых при трении наносятся пленки меди и медных сплавов, например «Гарант». В США выпускаются в промышленных масштабах добавки на основе порошков сплавов меди «Restorer» и «Repower», а во Франции, также на основе порошков сплавов меди, производится добавка «Metal-5».

Некоторое время назад была разработана и применялась металлоплакирующая присадка на основе нанопорошков железа «СТАРТ» для двигателей внутреннего сгорания, содержащая маслорастворимую и нерастворимую в масле составляющие [5]. При добавлении присадки «СТАРТ» в масло двигателей ЯМЗ-240 и КамАЗ-740 в количестве 0,2% (масс.) (по железу) наблюдалось снижение износа хромосодержащих деталей цилиндропоршневой группы двигателя ЯМЗ-240 в 2,1 раза, снижение износа втулок верхних головок шатунов в двигателе ЯМЗ-240 в 1,3 раза, а в двигателе КамАЗ-740 – в 3,9 раза. Кроме того, присадка «СТАРТ» обладает хорошими каталитическими свойствами: использование присадки позволило уменьшить дымность отработавших газов двигателей в 2-4 раза.

Вместе с тем, до сих пор остается неясным как влияет добавка на свойства исходного масла. В этой связи, данная работа посвящена исследованию влияния наномодифицирующей добавки на физико-химические свойства модифицируемого нефтепродукта.

В качестве наномодифицирующей добавки была использована восстанавливающая добавка «НаноКОР-F» производства ООО НПП «НаноКОР-Восток» (Томская область).

Добавка «НаноКОР-F» содержит ультрадисперсные алмазы и совместима с любыми минеральными и синтетическими маслами (рисунок). Ультрадисперсные наноалмазы представляют собой мельчайшие частицы углерода в форме алмаза. Эти частицы при добавлении их в смазочные материалы, могут заполнять собой микронеровности на поверхности металла, делая трущиеся поверхности более гладкими. Тем са-



Рисунок – Восстанавливающая добавка НаноКОР-F

мым, использование наноалмазов в качестве присадок к маслам позволяет снижать потери на трение и экономить энергоресурсы.

Использование добавки, как утверждают её разработчики, устраняет микродефекты и восстанавливает шатунно-поршневую группу. Кроме того, повышает компрессию в двигателе, снижает расход масла и увеличивает срок его службы, раскоксовывает поршневые кольца и очищает двигатель от нагара, снижает уровень CO<sub>2</sub> и дымность выхлопных газов, до 1,5-2,0 раз. За счет сбалансированного состава добавка не осаждается в двигателе, свободно проходит сквозь фильтры. Использование добавки позволяет эксплуатировать технику в тяжёлых и экстремальных условиях без вредных последствий.

В работе было проведено определение физико-химических свойств проб чистого моторного масла марки М14Г<sub>2</sub>ЦС и масла той же марки с восстанавливающей добавкой «НаноКОР-F», содержащей ультрадисперсные алмазы.

Пробы были проверены по следующим физико-химическим показателям: кинематическая вязкость, температура вспышки в открытом тигле, плотность, массовая доля воды, массовая доля механических примесей и щелочное число. Результаты исследования отображены в таблице.

*Таблица – Физико-химические показатели чистого и модифицированного моторного масла М14Г<sub>2</sub>ЦС*

Показатели	М14Г <sub>2</sub> ЦС	Проба №1*	Проба №2**	Метод испытания
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	13,5-15,0	13,78	13,72	ГОСТ 33-2000
Температура вспышки в открытом тигле, не менее, °С	215	248	254	ГОСТ 4333-87
Плотность при 20 °С, не более, кг/м <sup>3</sup>	910	894	894	ГОСТ 3900-85
Массовая доля воды, %	следы	следы	следы	ГОСТ 2477-65
Массовая доля механических примесей, не более, %	0,01	0,0093	0,0168	ГОСТ 6370-83
Общее щелочное число, не менее, мг КОН на 1 г масла	9,0	9,49	9,32	ГОСТ 11362-96

\*-чистое моторное масло; \*\*-моторное масло с восстанавливающей добавкой «НаноКОР-F»

Из таблицы видно, что основные физико-химические показатели моторного масла М14Г<sub>2</sub>ЦС после модифицирования добавкой «НаноКОР-F», а именно: кинематическая вязкость, температура вспышки в открытом тигле, плотность, массовая доля воды и щелочное число остались, практически, без изменений. В то же время, массовая доля механических примесей в модифицированном масле увеличилась почти в два раза. Эта особенность должна учитываться при использовании восстанавливающей добавки «НаноКОР-F».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. -М.: Машиностроение, 1989. -328 с.
- 2 Пат. 1730842 Россия, МКИ С10М 125/04. Смазочный состав / Ильин А.П., Краснятов Ю.А., Елизаров А.В., Чернов М.Г. - Заявл. 14.02.90; опубл. 16.02.93, Бюл.6; приоритет 14.02.90. -4 с.
- 3 Пат. 2132363 Россия, МПК С10М 125/00. Металлоплакирующий смазочный состав / Ильин А.П., Петрунин В.Ф. -Заявл. 24.04.97; опубл. 27.06.99, Бюл. №18; приоритет 24.04.97.
- 4 Ильин, А.П. Динамические эффекты в процессе трения при плакировании ультрадисперсными порошками / А.П. Ильин, Г.А. Медведев, В.Ф. Петрунин // Физикохимия ультрадисперсных (нано-) систем: тез. докл. VI Всерос. конф. / МИФИ. -М., 2002. -С. 397.
- 5 Ильин, А.П. Применение электровзрывных ультрадисперсных порошков в качестве добавок к маслам / А.П. Ильин, Ю.А. Краснятов, С.А. Ларионов // Получение, свойства и применение энергонасыщенных порошков металлов и их соединений: тез. докл. Рос. конф. / НИИ ВН при ТПУ. -Томск, 1993. -С. 83.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *нанопорошок, восстанавливающая добавка, физико-химические свойства*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора, ФГУП «СНИИМ»*  
*Половинкин Валерий Николаевич, докт. техн. наук, референт директора ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»*  
*Ильин Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*  
*Тихонов Дмитрий Васильевич, канд. техн. наук, ассистент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*  
*Клековкин Иван Владимирович, заместитель начальника лаборатории ФГУП «СНИИМ»*  
*Ясырова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»*  
*196158, г.Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»*  
*634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*  
*644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*



## ИЗМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ПРИ ЗАМЕНЕ СОРТА ТОПЛИВА И ВВЕДЕНИИ ПРИСАДОК

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Пушкин, Д.О. Заонегин

### ALTERATIONS SIZE OF PARTICLES THE DIESEL ENGINE SOOT UNDER SORT OF FUEL SUBSTITUTE AND ADDITIVES INTRODUCE

Novosibirsk state academy of water transport  
V.P. Pushnin, D.O. Zaonegin

The smaller size diameter of particles of diesel engine soot low-ash fuels had been mounting. The decrease diameter of particles of diesel engine soot under burn heavy fuels in variety aqueous- fuels emulsion and additives introduce melting has been bind.

*Keywords: diesel engine soot, size of particles, fuel additives*

Установлены меньшие значения диаметра частиц дизельной сажи дистиллятных топлив. Обнаружено уменьшение диаметра частиц дизельной сажи при сжигании тяжелого топлива в виде водотопливной эмульсии и введении присадок.

Сажа является естественной дисперсной системой. Поверхность дисперсных систем очень велика по сравнению с их объемом. Удельная поверхность сажи является косвенным показателем дисперсности [1]. Она равна сумме поверхностей частиц, составляющих 1 г (реже 1 см<sup>3</sup>) материала. Чем выше дисперсность материала, тем больше у него удельная поверхность.

Значение удельной поверхности по азоту является классификационным признаком технического углерода (промышленной сажи), применяемого в резинотехнических изделиях. В соответствии со стандартом ASTM D1765-98 этот показатель находится в пределах от более 150 (группа 0) до 0-10 м<sup>2</sup>/г (группа 9) [2].

Наиболее близкая по условиям образования и сжигаемому продукту к дизельной саже промышленная сажа, полученная печным способом в специальных печах (реакторах) в результате неполного сгорания распыленного форсункой сырья при турбулентном потоке воздуха. Удельная поверхность такой сажи составляет от 120 до 15 м<sup>2</sup>/г у сажи марок ТМ-120 и ТМ-15 соответственно (устаревшая классификация). Столь большое различие удельной поверхности в пределах одного процесса и одного вида сырья достигается изменением параметров технологического режима, главным образом температуры и соотношения воздух: сырье. Так малодисперсную сажу получают при температуре в зоне образования сажи 1423 К, а высокодисперсную при 1773 К, при этом расход воздуха составляет 0,22 от теоретически необходимого для малодисперсной и 0,41 для высокодисперсной сажи [3].

В дизеле сажа образуется при переменной температуре от 1773-1973 К до примерно 1373 К. «Технологический режим» образования сажи в одном и том же дизеле и при одной и той же нагрузке не изменяется. Установить, как изменится дисперсность дизельной сажи при замене сорта топлива и введении в топливо присадок, явилось задачей настоящих исследований.

Исследовалась сажа топлив, характеристики которых и значения насыпной плотности их сажи взяты из [4] и приведены в таблице 1. Указанная в таблице 1 удельная поверхность этих же проб сажи, определена по тепловой десорбции газа (ГОСТ 23401-90) в аналитических лабораториях ОАО СИБУР, г. Томск.

Как следует из таблицы, сорт топлива влияет на величину удельной поверхности сажи. Если исключить искусственные топлива (№2 и №3), то просматривается уменьшение удельной поверхности сажи с повышением вязкости топлива, а также увеличением насыпной плотности сажи. Предположение о связи между насыпной плотностью сажи и удельной поверхностью было выдвинуто в [5] на основании данных по техническому углероду.

Были также определены значения удельной поверхности сажи, полученной при введении в моторное топливо ДТ (топливо №4) противодымных и многофункциональных присадок. Эти присадки известны давно, а исследования по изменению дисперсности сажи при их введении не приводятся. В настоящих исследованиях при искусственно ухудшенном процессе сгорания (измененной конструкцией вставки дополнительной камеры и уменьшенном угле опережения подачи топлива) высокое сажесодержание выпускных газов при введении

присадок сохранялось. Сведения о пробах сажи, взятые из [6] и найденные значения удельной поверхности даны в таблице 2.

*Таблица 1 – Характеристики сажи, полученной при сжигании ряда топлив в дизеле 1С8,5/11 при сажесодержании выпускных газов в пределах 1,0-1,1 г/м<sup>3</sup>*

№ топлива	Вид топлива	Характеристики топлив		Характеристики сажи	
		кинематическая вязкость при 50 °С, мм <sup>2</sup> /с	содержание серы, %	насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
1	Дизельное летнее	1,75	0,24	56	83,26
2	Смесь (70% вакуумного дистиллята + 30% дизельного летнего)	5,60	0,85	58	128,41
3	Водотопливная эмульсия (ВТЭ) (80% моторного топлива ДТ + 20% воды)	-	-	72	99,21
4	Моторное ДТ (базовое для ВТЭ)	4,60	0,8	66	44,32
5	Моторное ДМ	27,50	1,1	108	33,43

*Таблица 2 – Характеристики сажи, полученной при сжигании моторного топлива ДТ с присадками в дизеле 1С8,5/11 при сажесодержании выпускных газов в пределах 1,00-1,05 г/м<sup>3</sup>*

№ топлива	Присадка	Количество присадки, %	Характеристики сажи	
			насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
6	Дислип Ф	1,0	74	91,68
7	Парадайн 12	1,0	73	57,40
8	Гамленол	0,2	69	46,49
9	Лубризол	0,5	71	69,86
10	СП-2	0,5	68	73,28

В соответствии с таблицами 1 и 2 удельная поверхность сажи увеличилась, в ряде случаев весьма значительно, при введении всех исследуемых присадок и работе дизеля на ВТЭ, а насыпная плотность сажи несколько увеличилась.

Впрямую дисперсность первичных частиц сажи оценивается по их диаметру. Чем меньше размер частиц, тем выше дисперсность. Средний диаметр приблизительно можно оценить, воспользовавшись зависимостью, приведенной на рисунке 1.

Даже технический углерод полидисперсный [2]. Полидисперсность характеризуется распределением частиц по размерам. Такие данные для технического углерода в нанометровом диапазоне измерения размеров со ссылкой на источник [7] приведены в [8] и представлены на рисунке 2.

Сужение распределения, наблюдаемое с повышением температуры (рисунок 2), согласно [8] объясняется различной скоростью образования зародышей частиц, в рассматриваемом случае зависящей от температуры. В случае сжигания топлива в дизеле различная скорость образования зародышей частиц, вероятно, связана с минеральным составом топлива.

Дисперсность дизельной сажи мало исследована. Имеются данные [9], согласно которым диаметр первичных частиц дизельной сажи при работе на дизельном топливе варьируется в пределах 15-170 нм. Этот вывод сделан в сумме по саже двухтактного и четырехтактного дизелей, образующейся на режиме, соответствующем интенсивному дымлению. При этом средний арифметический диаметр первичных частиц составлял 39,1 нм у дизеля ЯАЗ-204 и 42,8 нм у дизеля ЯМЗ-236. Соответствующее распределение размеров частиц приведено на рисунке 3. Здесь же показаны кривые распределения при сжигании топлив не в дизеле.

Неизученным остается распределение диаметров частиц дизельной сажи при работе на различных топливах. При известном среднем диаметре частиц, в первом приближении, очевидно, можно ориентироваться на кривые распределения, представленные на рисунке 3. Тогда применительно к топливам, приведенным в таблице 1 при значениях среднего арифметического диаметра частиц согласно рисунку 1 можно заключить следующее. После перехода дизеля 1С8,5/11 на работу с дизельным топливом на моторное топливо ДТ распределение диаметра первичных частиц сажи расширилось и еще более расширилось при сжигании мо-

торного топлива ДМ. При этом частицам сажи дизельного топлива, моторного топлива ДТ и моторного топлива ДМ примерно соответствуют кривые 1-3, приведенные на рисунке 3.

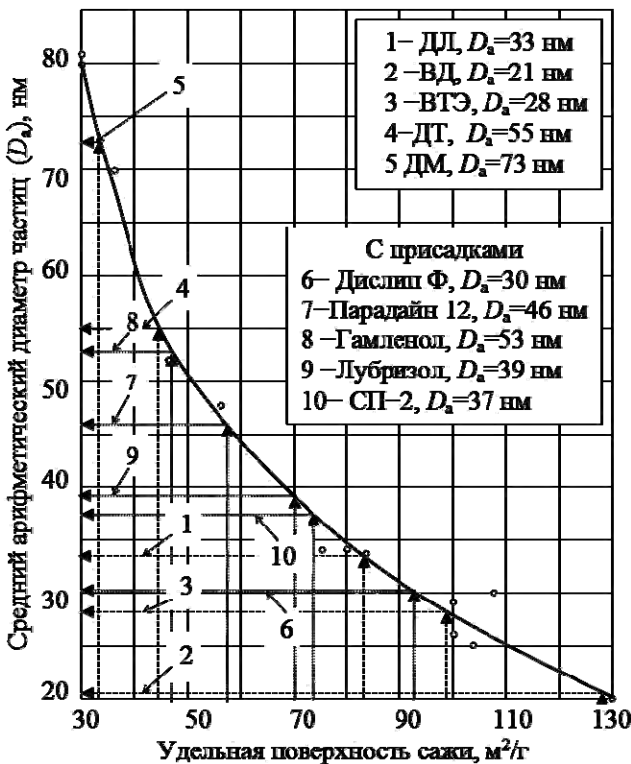


Рисунок 1 – Зависимость показателей дисперсности технического углерода, используемая для определения среднего значения диаметра первичных частиц дизельной сажи отобранной с дизеля 1Ч8,5/11 и найденные значения среднего арифметического диаметра частиц: точками показаны значения для технического углерода, по данным [1]



Рисунок 2 – Кривые распределения диаметров нанодисперсных углеродных частиц, полученных при пиролизе жидких углеводородов: по результатам электронно-микроскопических измерений [7]

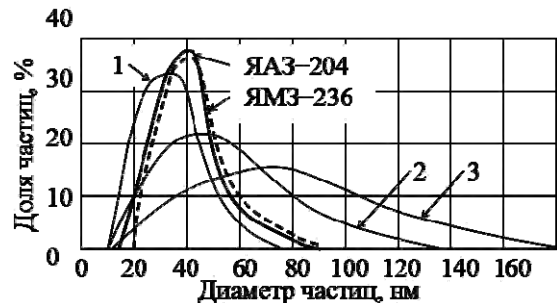


Рисунок 3 – Распределение диаметров частиц сажи: 1, 2, 3-функции распределения для различных условий сжигания углеводородных топлив [10]; ЯАЗ-204; ЯМЗ-236-кривые распределения при сжигании дизельного топлива в двухтактном и четырехтактном дизеле соответственно при работе на режиме близком к внешней скоростной характеристике [9]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Печковская, К.А. Сажа как усилитель каучука / К.А. Печковская. -М.: Химия, 1968. -216 с.
- 2 Орлов, В.Ю. Производство и использование технического углерода для резин / В.Ю. Орлов, А.М. Комаров, Л.А. Ляпина. -Ярославль: Александр Рутман, 2002. -512 с.
- 3 Зуев, В.П. Производство сажи / В.П. Зуев, В.В. Михайлов. -М.: Химия, 1965. -277 с.
- 4 Лебедев, О.Н. Основные факторы, определяющие скорость газообразного износа посадочной фаски выпускных клапанов дизелей / О.Н. Лебедев, В.А. Сомов, В.П. Пушнин // Двигателестроение. -1985. -№4. -С. 16-18.
- 5 Пушнин, В.П. Особенности образования и насыпная плотность дизельной сажи / В.П. Пушнин // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосибир. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2000. -С. 121-127.
- 6 Пушнин, В.П. О выборе критерия для прогнозирования газообразного износа посадочной фаски выпускных клапанов дизелей / В.П. Пушнин // Повышение эффективности технической эксплуатации СЭУ: сб. науч. тр. / Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1982. -Вып.161. -С. 91-99.
- 7 Matsubayshi, E. Carbon Black / E. Matsubayshi // Sckiyu Gakkai Shi. -1973. -Vol.16, №5. -P. 381-386.
- 8 Сузовикин, В.Ф. Современные тенденции развития методов и технологии получения нанодисперсных углеродных материалов / В.Ф. Сузовикин // Рос. хим. журн. -2007. -Т. LI, №4. -С. 92-97.
- 9 Мачульский, Ф.Ф. Дисперсность и структура дизельной сажи / Ф.Ф. Мачульский // Токсичность двигателей внутреннего сгорания и пути ее снижения: симпозиум. -М., 1966. -С. 206-219.
- 10 Образование и выгорание сажи при сжигании углеводородных топлив / Ф.Г. Бакиров, В.М. Захаров, Н.З. Полищук, З.Г. Шайхутдинов. -М.: Машиностроение, 1989. -128 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизельная сажа, дисперсность, присадки к топливу  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Пушнин Валерий Петрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГAVT»  
 Заонегин Дмитрий Олегович, студент ФБОУ ВПО «НГAVT»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГAVT»

## УРАВНОВЕШИВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.К. Зуев, А.А. Зуев

## BALANCING COMBUSTION ENGINES

Novosibirsk state academy of water transport

A.K. Zuev, A.A. Zuev

The work is devoted to the problem of balancing internal combustion engines. It is shown that the engine comprises at least two independent oscillation systems and possible complete equilibration.

*Keywords: independent systems*

Работа посвящена проблеме уравнивания двигателей внутреннего сгорания. Показано, что двигатель содержит как минимум две независимые колебательные системы и их полное уравнивание невозможно.

Если ДВС уравновешен, то его не надо виброизолировать. Почему же мы его виброизолируем, а не уравниваем? Как решается проблема уравнивания? А никак! Даже не все авторы учебников по ТММ затрагивают проблемы уравнивания ДВС, а те которые затрагивают, ограничиваются расчетом и установкой противовесов на звеньях кривошипно-шатунного механизма ДВС. Заметный шаг в решении проблемы уравнивания ДВС сделан профессором С.И. Артоболовским [1]. Он предложил схему 4-х цилиндрового ДВС с оппозитным расположением цилиндров, которая обеспечивает полную уравновешенность сил инерции поршней, если шатуны невесомы. Но это решение ещё далеко от идеала, так как шатуны находятся в плоско-параллельном движении, и уравнивание шатунов с помощью противовесов выглядит безнадежным.

Покажем это на простом примере. Возьмем маховик, шатун и поршень. Будем считать, что потерь на трение нет. Механизм движется вечно (так как потерь кинетической энергии нет) с заданной частотой. Поршень движется с переменной скоростью, останавливается, движется в обратном направлении. Центр тяжести шатуна движется по замкнутой кривой с переменной скоростью. Шатун ещё и вращается вокруг центра масс с переменной по величине и направлению угловой скоростью. Так как скорости определяют величину кинетической энергии движущихся звеньев, то происходит «перетекание» кинетической энергии с поршня на маховик и обратно.

Кинетическая энергия маховика значительно больше суммы кинетических энергий шатуна и поршня. Поэтому угловая скорость маховика меняется незначительно. Перетекание кинетической энергии обеспечивают силы инерции шатуна и поршня, сжимающие или растягивающие шатун. Ранее уже упоминалось, что уравнивание этих сил безнадежно. Убедительным примером сказанного является дизель-генератор, питающий сварочный трансформатор. При постоянной нагрузке (горение дуги) вибрация дизель-генератора в пределах нормы. При регулярном зажигании и гашении дуги вибрация дизель-генератора многократно увеличивается. Где здесь эти силы инерции, которые надо уравновесить? Энергия (дизельное топливо) подводится тонкой струйкой, и электрическая энергия отводится потребителю потоком электронов, а амплитуды вибрации тяжелого дизель-генератора превышают допустимые нормы.

Вот в какие парадоксы заводит нас неуважение к закону сохранения энергии. Энергия не исчезает и не возникает, она лишь преобразуется. Пример с дизель-генератором не является исключением. Домашний холодильник «вздрагивает» при автоматическом включении и выключении компрессора.

Вернёмся к маховику, который вращается неравномерно. Он находится в корпусе ДВС вместе с шатунами и поршнями, которые его то «подгоняют» то «тормозят». Поршни и шатуны являются «передатчиками» сил от корпуса на маховик. Общепринятое мнение, что двигатель является одной механической системой, а потребитель энергии (например, винт) другой неверно. Корпус ДВС и маховик с коленчатым валом (при вращательном движении вокруг оси коленчатого вала) являются разными механическими системами. Силы взаимодействия между этими системами являются внешними для каждой из них. Но во вращательном движении вокруг остальных двух осей эти системы представляют собой единую колеба-

тельную систему. Если пренебречь движением масс поршней, то при колебаниях по трем осям ДВС также представляет собой единую колебательную систему.

Вышесказанное позволяет объяснить увеличение амплитуд колебаний дизель-генератора при переменных нагрузках в электрической цепи. Во вращательном движении вокруг оси коленчатого вала дизель-генератор состоит из двух механических систем тел, и перетекание энергии происходит в форме электромеханической.

Сказанное позволяет говорить о том, что если энергия поступает импульсами (ДВС) или потребляется импульсами как в поршневых насосах, то говорить о полном уравнивании корпусных деталей машин некорректно, так как во вращательном движении мы имеем две механические системы (вращающиеся массы и корпусные детали). Силы взаимодействия между этими механическими системами являются внешними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Артоболевский, С.И. Теория механизмов и машин / С.И. Артоболевский. -М.: Высш. шк., 1965. -367 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *независимые системы*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Зуев Анатолий Кузьмич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*Зуев Андрей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

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

## **ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**С.П. Глушков, О.Б. Лебедев**

### **ASSESSMENT OF DEGRADATION OF TECHNICAL CONDITION OF CRANKED SHAFT OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES ON DYNAMIC CHARACTERISTICS**

Novosibirsk state academy of water transport

S.P. Glushkov, O.B. Lebedev

In use power installations there is a gradual degradation of its criteria details. By means of values of dynamic characteristics – torsional fluctuations of gross lines of power installations, is possible to evaluate their technical condition.

*Keywords: the crankshaft, shaft line, torsional fluctuations*

В процессе эксплуатации энергетических установок происходит постепенная деградация ее критериев деталей. С помощью значений динамических характеристик – крутильных колебаний валовых линий энергетических установок, возможна оценка их технического состояния.

Исследования проводились на валовых линиях СЭУ судов типа «РТ-600» проекта 1741А класса «Р» Российского Речного Регистра. Машинное отделение расположено в кормовой оконечности судна. В качестве главных двигателей этих проектов судов используется двигатель 6NVD26А-3. Энергетические установки имеют валовую линию, которая представляет собой крутильно-колеблющуюся систему тел, находящуюся под воздействием периодических крутящих моментов двигателя внутреннего сгорания. Расчет собственных частот  $\omega$  и относительных амплитуд крутильных колебаний  $\alpha$  судовой энергетической установки производился методом математического моделирования при непосредственном решении системы дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} (c_1 - \omega^2 J_1) \alpha_1 - c_1 \alpha_2 = 0; \\ -c_1 \alpha_1 + (c_2 + c_1 - \omega^2 J_2) \alpha_2 - c_2 \alpha_3 = 0; \\ \dots \\ (c_{m-1} - \omega^2 J_m) \alpha_m - c_{m-1} \alpha_{m-1} = 0. \end{cases}$$

Определитель является функцией  $\omega^2$ , симметричен относительно главной диагонали и имеет порядок, равный числу степеней свободы дискретной системы. Так как  $\omega^2$  содержится во всех диагональных членах, то число корней определителя также равно числу степеней свободы. Амплитуды собственных колебаний валовых линий энергетической установки на-

ходят для каждой ранее определенной частоты. Затем по вычисленным значениям строится график амплитудно-частотной характеристики, на который также наносятся реальные значения амплитуд колебаний, полученные во время экспертизы установки. Сравнивая значения дискретной модели с реальными характеристиками, делается пересчет амплитуд колебаний. Полученные значения амплитуд колебаний позволяют определить самые напряженные участки системы, что дает возможность оценить техническое состояние валовых линий энергетических установок.

Измерение крутильных колебаний судовых валопроводов левого и правого борта производились разработанным автоматизированным вычислительным комплексом БАГС-4 [1] в соответствии с п.3 руководства Р.009-2004 РРР «Расчет и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов» и программой по торсиографированию судовых валопроводов, согласованной с Западно-Сибирской инспекцией РРР.

Для выявления тренда деградации валовых линий судовых энергетических установок и установления формы зависимости амплитуды колебаний коленчатых валов ДВС от наработки, был использован парный регрессионный анализ [2].

Из генеральной совокупности данных с одинаковой наработкой двигателя была взята выборка и вычислены среднеарифметические значения амплитуды крутильных колебаний валовых линий энергетических установок. Данные сведены в таблице.

Парный регрессионный анализ включает: установление формы зависимости между переменными, оценку функции регрессии, проверку достоверности построенной функции регрессии.

*Таблица – Массив экспериментальных данных*

№ п/п	Наработка двигателя $t$ , 10 тыс. ч ( $x_i$ )	$\bar{A}$ , безразмерная ( $y_i$ )
1	1,00	0,41
2	3,00	1,45
3	3,75	1,81
4	3,90	1,93
5	5,60	2,66

Построение уравнения регрессии предполагает наличие между переменными  $X$  и  $Y$  линейной статистической зависимости. Степень такой зависимости определяется с помощью коэффициента корреляции Пирсона (1)

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где  $\bar{x}, \bar{y}$  – среднее значение выборок

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i.$$

Для анализируемых динамических характеристик судовых энергетических установок коэффициент корреляции Пирсона  $r_{xy} = 0,998$ , что указывает на линейную статистическую зависимость  $X$  и  $Y$ .

Согласно принципу минимальной сложности для зависимости амплитуд колебаний валовых линий от наработки ДВС была выбрана линейная модель регрессии, которая имеет вид(2)

$$f(x) = a + bx, \quad (2)$$

где  $a$  – свободный член,  $a = \text{Const}$ ;

$b$  – коэффициент регрессии, (угловой коэффициент).

Параметры данного уравнения определены с помощью метода наименьших квадратов (МНК). При этом следует заметить, что параметры модели, при которых сумма квадратов отклонений эмпирических (фактических) значений результирующего признака от теоретических, полученных по выбранному уравнению регрессии, будет стремиться к минимуму

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_x)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $y_i$  – фактическое значение признака;

$\hat{y}_x$  – теоретическое значение результирующего признака, найденное исходя из уравнения регрессии  $f(x)$ .

Для определения коэффициентов  $a$  и  $b$  линейной регрессии решается следующая система нормальных уравнений

$$\begin{cases} an + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i; \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i. \end{cases} \quad (4)$$

По результатам вычислений, уравнение парной регрессии для исследуемой зависимости амплитуды колебаний валовой линии от наработки двигателя внутреннего сгорания

$$f(x) = -0,043 + 0,493x. \quad (5)$$

Стандартные ошибки параметров линейной регрессии определяются по формулам:

$$m_b = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_x)^2}{n-2}}; \quad m_a = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_x)^2}{n-2} \frac{\sum x_i}{n \sum (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (6)$$

Для оценки статистической значимости параметров регрессии рассчитывается t-критерий Стьюдента. Оценка значимости коэффициентов  $a$  и  $b$  с помощью t-критерия Стьюдента проводится путем сопоставления их значений с величиной случайной ошибки

$$t_b = \frac{b}{m_b}; \quad t_a = \frac{a}{m_a}. \quad (7)$$

Коэффициент  $t_{табл}$  выбирается из таблиц распределения Стьюдента с  $n-2$  степенями свободы при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

Если  $[t_b] \geq t_{табл}$  и  $[t_a] \geq t_{табл}$ , то коэффициенты регрессии признаются значимыми.

Для найденного уравнения парной регрессии коэффициент  $b$  признается статистически значимым ( $[t_b] = 30,48 > t_{табл} = 3,18$ ), а коэффициент  $a$ , статистически не значимым ( $[t_a] = 0,71 < t_{табл} = 3,18$ ).

Для оценки адекватности уравнения регрессии был использован коэффициент детерминации  $R^2$ , который показывает, какая доля вариации зависимой переменной обусловлена вариацией объясняющей переменной. Вычисляется коэффициент детерминации по формуле

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_x - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (8)$$

где  $(\hat{y}_x - \bar{y})^2$  – объясненная вариация;

$(y_i - \bar{y})^2$  – общая вариация.

Коэффициент детерминации всегда находится в пределах интервала  $[0;1]$ . Чем ближе  $R^2$  к 1, тем лучше регрессия аппроксимирует эмпирические данные.

По результатам вычислений  $R^2 = 0,997$  или 99,7%. Это означает, что вариация зависимой переменной – амплитуды крутильных колебаний валовой линии энергетических установок на 99,7% объясняется изменением времени наработки двигателей внутреннего сгорания. Остальные 0,3% могут быть объяснены влиянием случайных факторов, таких как ошибка спецификации модели, ошибка измерений, обусловленная погрешностью измерений сбора и передачи данных.

Оценка значимости уравнения регрессии в целом производится на основе F-критерия Фишера. Фактическое значение F-критерия Фишера можно рассчитать по формуле

$$F_{факт} = \frac{R^2(n-2)}{1-R^2}. \quad (9)$$

Фактическое значение F-критерия Фишера сравнивается с табличным значением

$$F_{табл}(\alpha; m; n-m-1),$$

где  $m$  – число параметров при  $x$ .

$F_{факт} = 950,85 > F_{табл} = 10,13$ , что говорит о статистической значимости уравнения регрессии в целом.

С помощью средней относительной ошибки аппроксимации описывается качество (надежность) построенной парной регрессии. Эта числовая характеристика рассчитывается по формуле

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \bar{y}_i|}{|y_i|} 100\%. \quad (10)$$

Средняя ошибка аппроксимации не должна превосходить 10%. По результатам вычислений средняя относительная ошибка аппроксимации составляет 3,15%.

Графически исследуемая зависимость амплитуды колебаний валовой линии энергетической установки от наработки двигателя выглядит (рисунок).

Линия тренда линейной регрессии представляет модель среднестатистической деградации технического состояния валовых линий энергетических установок.

На графике имеется две зоны, которые можно интерпретировать, как зону «Удовлетворительного технического состояния» (находится ниже линии тренда) и зону «Неудовлетворительного технического состояния» (находится выше линии тренда). Таким образом, накладывая на график параметры амплитуд колебаний и наработки двигателей вновь исследуемых валовых линий энергетических установок, можно судить об их техническом состоянии.

По результатам анализа видно, что амплитуды колебаний от наработки двигателя линейно зависимы  $r_{xy} = 0,998$ , вычисленное уравнение регрессии адекватно  $R^2 = 0,997$ , коэффициент  $b$  статистически значим  $[t_b] = 30,48 > t_{табл} = 3,18$ , построенное уравнение линейной регрессии в целом статистически значимо  $F_{факт} > F_{табл}$ , качество аппроксимации свидетельствует о надежности построенного уравнения ( $\bar{A} = 3,15\%$ ).

Следует отметить, что графическое представление регрессионного анализа не выявляет причин изменения технического состояния валовых линий, но описывает тенденцию его ухудшения.

Расчеты производились с помощью программных сред Mathcad 15.0, Excel 2007 – Microsoft Office.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Глушков, С.П. Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для регистрации крутильных колебаний энергетических установок БАГС-4 / С.П. Глушков, А.М. Барановский, С.С. Глушков // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2006. -№9. -С. 109-112.

2 Глушков, С.П. Регрессионный анализ экспериментальных данных транспортной сферы / С.П. Глушков, А.О. Николашкина // Вестн. Сиб. ун-та потребит. кооперации. -Новосибирск, 2013. -№2(5). -С. 111-115.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** коленчатый вал, валопровод, крутильные колебания  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Глушков Сергей Павлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Лебедев Олег Борисович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

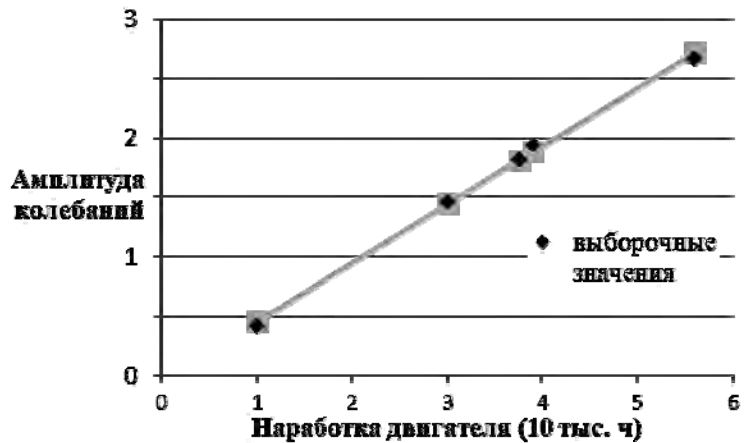


Рисунок – График зависимости амплитуды колебаний валовых линий энергетических установок от наработки двигателя

## ВИБРОДИАГНОСТИКА ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

DIAGNOSTICS OF THE CRANKSHAFT MARINE DIESEL ENGINES FOR THE PARAMETERS OF TORSIONAL VIBRATION  
 Novosibirsk state academy of water transport  
 S.V. Vikulov

On the basis of the analysis experimental material developed standards for the assessment of the status of damper and mathematical model forecasting a residual resource of the crankshaft of exploited marine diesel engines.

Keywords: marine diesel engines, crankshaft, torsional vibration, spectrogram, diagnostic, prediction, residual life



На основе анализа экспериментального материала разработаны нормативы для оценки состояния демпфера и математическая модель прогнозирования остаточного ресурса коленчатого вала эксплуатируемых судовых дизелей.

Анализ существующих методов и средств оценки усталостной прочности элементов валовой линии судовой энергетической установки (СЭУ) позволяет утверждать, что для этих целей в настоящее время наиболее эффективным является метод вибродиагностики крутильных колебаний (КК) с применением портативных измерительно-вычислительных комплексов типа БАГС-4. Информация здесь обрабатывается на основе современных информационных технологий, использующих максимальные возможности компьютерной техники, и отличающихся экспрессным получением параметров амплитудно-частотной характеристики КК на основе быстрого преобразования Фурье [1, 2]. В настоящей статье приводятся полученные автором результаты исследований вибродиагностики основных элементов коленчатого вала эксплуатируемых дизелей 6NVD26-A3 теплоходов типа «ОТ-600» проекта 1741 с использованием комплекса БАГС-4.

Рассмотрим вначале результаты оценки состояния демпфера крутильных колебаний. На исследуемых дизелях 6NVD26A-3 установлены герметичные силиконовые демпферы фирмы SKL (Германия). Номера контролируемых теплоходов в течение двух навигаций 2007-2008 годов, вид дизеля и его техническое состояние приведены в таблице 1. При этом дизели с работоспособными демпферами отнесены к исправному  $D_1$  техническому состоянию, а дизели, у которых была нарушена нормальная работа демпфера (заклинивание инерционной массы в корпусе, повышенная температура и отсутствие демпфера в валовой линии), были отнесены к дефектному  $D_2$  состоянию.

Измерение крутильных колебаний проводилось при помощи автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса БАГС-4 [1] в соответствии с п.3 руководства [3] и программой по торсиографированию валопроводов, согласованной с Западно-Сибирской инспекцией РРР [4]. Получаемая спектрограмма является амплитудно-частотной характеристикой анализируемых крутильных колебаний. Масштаб записи амплитуды для исследуемых дизелей составил  $4 \cdot 10^{-3}$  рад/дел. Анализ данных массива полученных спектрограмм, как при одинаковой частоте, так и при разных частотах вращения коленчатого вала для различных состояний демпфера, показал, что их спектральные плотности амплитудно-частотных характеристик существенно отличаются друг от друга [2, 5, 6].

Массив амплитудно-частотных характеристик спектрограмм, полученных при одинаковой диагностической частоте коленчатого вала, равной  $600 \text{ мин}^{-1}$ , был подвергнут статистической обработке. Для каждого интервала частот шириной в 12,2 Гц (всего 16 интервалов в диапазоне от 0 до 195 Гц) в относительных единицах масштаба амплитуд спектрограммы измерялась величина максимальной амплитуды. Затем рассчитывались средние амплитуды  $\bar{A}$  всех интервалов частот спектрограммы каждого дизеля, величины которых приведены в таблице 1.

Сравнением статистических характеристик  $\bar{A}$  исправного  $D_1$  и дефектного  $D_2$  состояний демпфера по двум известным критериям: Фишера и Стьюдента, установлено, что с вероятностью 99% можно утверждать, что они относятся к разным совокупностям [5]. Было также установлено, что среднее значение амплитуды  $\bar{A}$  по массиву данных дефектного состояния  $D_2$  в 2,85 раз превышает такой уровень амплитуд колебаний валопровода исправного  $D_1$  состояния демпфера. На основании изложенного в

*Таблица 1 – Теплоходы исследуемых дизелей*

Теплоход	Борт дизеля	Состояние дизеля	Средняя амплитуда $\bar{A}$ спектрограммы, дел.
РТ-638	правый	$D_1$	1,81
РТ-673	левый	$D_1$	0,98
РТ-685	левый	$D_1$	2,12
РТ-689	левый	$D_1$	1,45
РТ-726	правый	$D_1$	2,66
РТ-787	правый	$D_1$	1,93
РТ-791	правый	$D_1$	1,61
РТ-634	левый	$D_2$	4,94
РТ-638	левый	$D_2$	5,34
РТ-673	правый	$D_2$	5,18
РТ-674	правый	$D_2$	4,30
РТ-724	левый	$D_2$	4,79
РТ-740	правый	$D_2$	4,81
РТ-786	левый	$D_2$	4,81

качестве диагностического параметра состояния демпфера принята величина средней амплитуды  $\bar{A}$  крутильных колебаний. Кроме того, установлено, что у всех дизелей с дефектным состоянием демпфера амплитуды крутильных колебаний в диапазоне частот от 0 до 200 Гц на собственной частоте 54,031 Гц одноузловой формы колебаний и собственной частоте 71,490 Гц двухузловой формы колебаний в три и более раз превышают величины амплитуд на тех же частотах у дизелей с исправными демпферами [5].

Результаты исследования информативности параметров спектрограммы [6] показали, что эти параметры весьма информативны. Так, например, среднее значение диагностической ценности концентрации железа в работающем картерном масле составило величину 0,353 бит [7], а среднее значение общей диагностической ценности амплитуд крутильных колебаний – 0,842 бита [6], что больше примерно в 2,3 раза.

Исходя из гипотезы нормального распределения величин средних амплитуд  $\bar{A}$  спектрограмм (в первом приближении), установлены допустимый и предельный нормативы для оценки состояния демпфера при уровне надёжности  $P = 0,95$  и критерии Стьюдента  $t_p = 2,48$  :

$$\bar{A}_{\text{дол}} = \bar{A}(D_1) + t_p \cdot \sigma(D_1) = 1,79 + 2,48 \cdot 0,617 = 3,32 \text{ делений или } 1,33 \cdot 10^{-2} \text{ рад};$$

$$\bar{A}_{\text{пред}} = \bar{A}(D_2) - t_p \cdot \sigma(D_2) = 4,88 - 2,48 \cdot 0,332 = 4,10 \text{ делений или } 1,64 \cdot 10^{-2} \text{ рад},$$

где  $\bar{A}(D_1)$ ,  $\bar{A}(D_2)$  – соответственно средние значения амплитуд исправного  $D_1$  и дефектного  $D_2$  состояний демпфера;

$\sigma(D_1)$ ,  $\sigma(D_2)$  – соответственно средние квадратичные отклонения исправного  $D_1$  и дефектного  $D_2$  состояний демпфера.

Рассмотрим далее результаты оценки состояния и прогнозирования ресурса работы коленчатого вала дизелей, находящихся в условиях нормальной эксплуатации. Условно напряжения, возникающие в материале вала при работе дизеля, можно разделить на статическую и динамическую составляющие. Первая определяется передаваемым средним моментом, вторая переменной частью передаваемого крутящего момента, на которую накладываются крутильные колебания. Таким образом, коленчатый вал в нормальных условиях работает при асимметричном цикле напряжений. Вместе с тем, условия работы судовых валопроводов, выполняемых обычно из углеродистой стали, таковы, что статическая часть напряжений оказывает сравнительно малое влияние, составляя менее 30% предела текучести материала при кручении [8].

При развитии сильных крутильных колебаний, например при резонансах, амплитуда цикла может значительно превышать его среднее напряжение, а характер нагрузки приближается к симметричному циклу, при котором предел выносливости практически определяется только амплитудой цикла напряжений. Поэтому для крутильных колебаний судовых валопроводов достаточно нормировать только динамическую часть напряжений или, как принято называть, напряжения от крутильных колебаний. В области речного судостроения нормирование параметров крутильных колебаний валопроводов осуществляется Правилами Речного Регистра РФ [3].

При комплексном решении проблемы прогнозирования необходимо в первую очередь исследовать характер деградации объекта во времени. Теоретический анализ и полученные результаты экспериментальных исследований [2, 5, 6, 9] показали, что весь комплекс явлений, составляющих существо процесса накопления усталостных повреждений при циклических нагрузках, приводит к росту интенсивности крутильных колебаний валопровода СЭУ.

В качестве критерия накопления усталостных повреждений нами рассматривается средняя амплитуда  $\bar{A}$  крутильных колебаний спектрограммы, получаемой с исправных дизелей [9]. Эта амплитуда, согласно закону Гука, пропорциональна крутящим моментам и напряжениям, поэтому для целей прогнозирования отпадает необходимость перевода её в напряжения.

Таблица 2 – Массив экспериментальных данных исправного состояния демпфера

Теплоход	Дизель	$t$ , тыс. ч	$\bar{A}$ , безр.
РТ-673	левый	10,52	0,41
РТ-689	левый	30,41	1,45
РТ-638	левый	37,51	1,81
РТ-791	правый	38,22	1,61
РТ-787	правый	39,15	1,93
РТ-685	левый	52,66	2,12
РТ-726	правый	56,20	2,66
Среднее значение		37,81	1,71

Полученный массив экспериментальных данных исправного состояния  $D_1$  дизелей по всем элементам валовой линии, подвергнутый предварительной статистической обработке, представлен в таблице 2.

Для изучения характера статистической связи между средней амплитудой  $\bar{A}$  и наработкой дизелей  $t$  использовались методы корреляционного и регрессионного анализов. Обработка экспериментального материала массива исправных дизелей  $D_1$  (см. таблицу 1) методом наименьших квадратов позволила установить наличие довольно тесной зависимости, представленной линейной регрессионной моделью (рисунок 1)

$$\bar{A} = 2,016 \cdot 10^{-5} + 1,774 \cdot 10^{-4} t, \quad (1)$$

с коэффициентом корреляции  $r = 0,975$  и относительной ошибкой аппроксимации  $\delta = 8,81\%$  при уровне доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

Таким образом, полученная математическая модель (1) деградации объекта открывает путь к построению общей модели прогнозирования остаточного ресурса двигателей методом исследования крутильных колебаний, в гармоническом анализе которых содержится комплексная информация о техническом состоянии двигателя в целом и о состоянии валовой группы в частности.

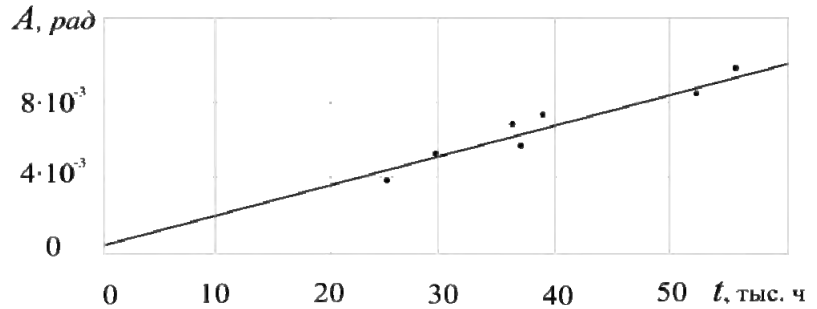


Рисунок 1 – Зависимость средней амплитуды крутильных колебаний от наработки дизеля:  
• – экспериментальные точки

Получим прогнозную формулу для определения остаточного ресурса коленчатого вала дизеля на основе зависимости (1). Схему алгоритма прогнозирования проиллюстрируем рисунком 2.

Остаточный ресурс определится как

$$t_{ocm} = t_{np} - t_i. \quad (2)$$

Считая, что полученная реализация (точка  $i$ ) относящаяся к области нормального развития крутильных колебаний, также следует линейному закону, можно записать:

$$t_{ocm} = \frac{\bar{A}_{доп} - \bar{A}_i}{a_i} \quad (3)$$

где  $\bar{A}_{доп}$  – допустимая величина средней амплитуды спектрограммы;

$\bar{A}_i$  – допустимая амплитуда  $i$ -ой реализации;

$a_i$  – угловой коэффициент гипотетической прямой  $i$ -ой реализации

$$a_i = \frac{\bar{A}_i}{t_i}.$$

Тогда прогнозная формула будет иметь вид

$$t_{ocm} = \frac{\bar{A}_{доп} - \bar{A}_i}{\bar{A}_i} \cdot t_i = \left( \frac{\bar{A}_{доп}}{\bar{A}_i} - 1 \right) t_i. \quad (4)$$

На рисунке 2 через  $\alpha_0$  и  $\alpha_i$  соответственно обозначены углы наклона регрессионной прямой (1) и гипотетической прямой  $i$ -ой реализации (точка  $i$ ). При этом  $a_0 = \text{tg} \alpha_0$  а  $a_i = \text{tg} \alpha_i$ .

Так как рассматривался массив исправных дизелей, то допустимую величину средней амплитуды  $\bar{A}_{доп}$  колебаний можно вычислить по формуле (1) для правого дизеля теплохода «РТ-726» при максимальной наработке 56,2 тыс. ч. Эта величина по теоретической регрессионной модели составит  $\bar{A}_{доп} = 2,54$  делений или 0,01 рад. Приведём пример вычисления. Пусть получена реализация  $t_i = 24$  тыс. ч;  $A_i = 1,8$  делений или 0,072 радиан. Тогда по формуле (4) получим  $t_{ocm} = 9,333$  тыс. ч.

По результатам накопленного опыта использования предлагаемой методики прогнозирования при эксплуатации дизелей, регрессионная модель вида (1), а также допустимая

средняя амплитуда  $\bar{A}_{доп}$  крутильных колебаний могут корректироваться экспертным советом технического менеджмента судоходной компании. Продлевать ресурс целесообразно на период следующей навигации  $t_n$ . Тогда необходимо выполнять условие, чтобы  $t_{ост} > t_n \approx 2,5$  тыс. ч (в зависимости от региона эксплуатации).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Глушков, С.П. Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для регистрации крутильных колебаний энергетических установок БАГС-4 / С.П. Глушков, А.М. Барановский, С.С. Глушков // Сиб. науч. вестн. -2006. -Вып.9. -С. 109-112.
- 2 Викулов, С.В. Анализ амплитудно-частотной характеристики крутильных колебаний валовой линии судового дизеля / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 257-260.
- 3 Р.009-2004. Руководство. Расчет и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов. -М.: Рос. Реч. Рег., 2004. -14 с.
- 4 Расчет крутильных колебаний валопровода: №19.02/1741-8 от 14.01.2003 г. -Новосибирск: ИПС, 2003. -37 с.
- 5 Викулов, С.В. Оценка и анализ технического состояния силиконового демпфера крутильных колебаний судового дизеля / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 260-263.
- 6 Викулов, С.В. Информативность диагностических параметров спектрограммы крутильных колебаний валопровода СЭУ / С.В. Викулов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 137-139.
- 7 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.
- 8 Агуреев, А.Г. Крутильные колебания и надёжность судовых валопроводов / А.Г. Агуреев, Ю.С. Баршай. -М.: Транспорт, 1982. -112 с.
- 9 Викулов, С.В. Критерий усталостной долговечности коленчатого вала дизеля / С.В. Викулов, С.С. Глушков, С.В. Штельмах // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1. -С. 201-202.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** судового дизель, коленчатый вал, крутильные колебания, спектрограмма, диагностика, прогнозирование, остаточный ресурс  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

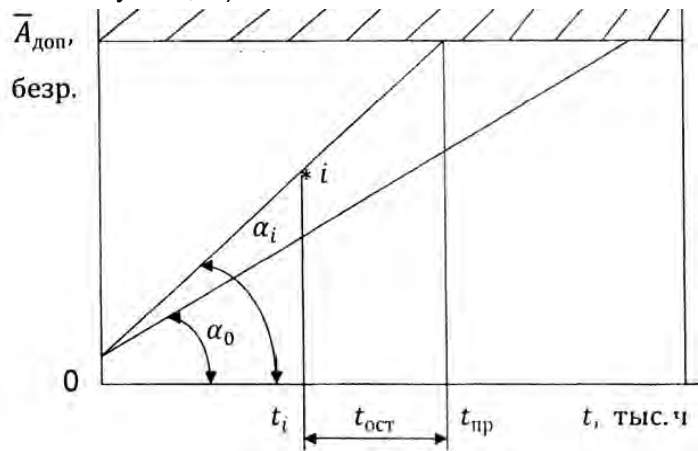


Рисунок 2 – Схема линейного прогнозирования:  $t_i$  -наработка дизеля на момент измерения, тыс. ч;  $t_{пр}$  -предельная наработка дизеля, тыс. ч;  $t_{ост}$  -остаточный ресурс, тыс. ч;  $\alpha_0$  -угловой коэффициент зависимости (1)

**СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Ю.А. Шапошников

SYSTEM MODELLING OF DIFFICULT TECHNICAL OBJECTS  
 Altai state technical university named I.I. Polzunova  
 Yu.A. Shaposhnikov

Are shown a role and possibilities of system modeling of difficult technical objects of different function.

Keywords: system, model, difficult object, mathematical modeling, diagnostics

Показаны роль и возможности системного моделирования сложных технических объектов различного назначения.

Возрастание роли моделирования в познании обуславливает повышение интереса к его специфике и возможностям. Технические, экологические, экономические и иные системы, изучаемые современной наукой, больше не поддаются исследованию (в нужной полноте и точности) обычными теоретическими методами. Постановка вопроса о математическом моделировании какого-либо объекта осуществляется по четкому плану действий, который академик А.А. Самарский [1] представляет в виде трех этапов: «модель-алгоритм-программа» (рисунок).

На первом этапе выбирается (или строится) «эквивалент» объекта, отражающий в опи-

сательной или математической форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется, связи, присущие его элементам. Уточнение смысла понятия модели состоит во введении функциональной асимметрии в отношении сходства между двумя объектами. Если два объекта сходны между собой, то они равноправны по отношению к этому сходству. Асимметрия в отношении сходства вводится путем трактовки одного объекта как прототипа (оригинала), а другого как «модели». Прототип выступает в функции замещаемого, модель – в функции заместителя, позволяющего осуществить перенос знаний на объект исследования. Перенос знаний осуществляется как благодаря предположению о сходстве заместителя и замещаемого, так и наличию заместителя как такового. Если два сравниваемых объекта полностью отличаются друг от друга, то моделирование невозможно. Если же они тождественны, моделирование ненужно.

На втором этапе разрабатывают алгоритм для реализации построенной модели на компьютере. Здесь используются различные численные методы, определяется последовательность вычислительных и логических операций.

На третьем этапе создаются программы, «переводящие» модель и алгоритм на доступный компьютеру язык.

В настоящее время становится все более очевидной необходимость и системного подхода к сложным объектам исследования различной природы, в частности, применительно к диагностике ДВС [2, 3]. Она обусловлена сложностью объектов познания и многообразием их сторон и связей, что находит отражение в тенденции современной науки рассматривать изучаемые явления как взаимосвязанные. Усилением своих возможностей моделирование обязано системному подходу. Системное моделирование может рассматриваться как такой этап в развитии моделирования, на котором оно было усилено идеями системного подхода [4]. Представление объекта в качестве системы позволило использовать моделирование с большей эффективностью. Несистемное моделирование зачастую ограничивалось изучением отдельных сторон объекта, поэтому оно не могло выступать в качестве осознанной операции целостного изучения объекта – в этом случае моделирование предшествовало его системному представлению. В рамках системного моделирования рассмотрение объекта как системы предшествует созданию математической модели. Если при несистемном моделировании исследователь бывает лишен возможности узнать истинную цену получаемого с помощью модели знания, так как не всегда может представить, от каких сторон объекта он отвлекается, то при системном моделировании исследователь знает, какую сторону системы он моделирует и от каких сторон объекта он отвлекается в рамках используемой модели. Следовательно, эффективность моделирования в рамках системного подхода значительно повышается.

Представление объекта исследования как системы связано с переосмыслением проблемы, рассмотрением ее в новых понятиях, учитывающих его целостность, благодаря этому увеличиваются возможности используемых методов исследования.

Задачи системного исследования предъявляют особые требования к методологии моделирования. Неудовлетворенность изолированными эмпирическими данными, полученными изучением ограниченного числа взаимодействий в системе, свидетельствует об ограниченности изолированных моделей в процессе исследования сложных объектов. Это объясняется тем, что информация об объекте, полученная с помощью таких моделей (выбор которых часто произволен и зависит от интуиции исследователя), в рамках целостной системы бывает недостаточной и даже ошибочной. В связи с этим во многих науках наблюдается тенденция сведения всех изолированных моделей одного и того же объекта в одну системную модель. Каждая модель, ранее изолированно представляющая какую-то сторону, свойство объекта, должна в такой системной модели занять определенное место, соотношенное

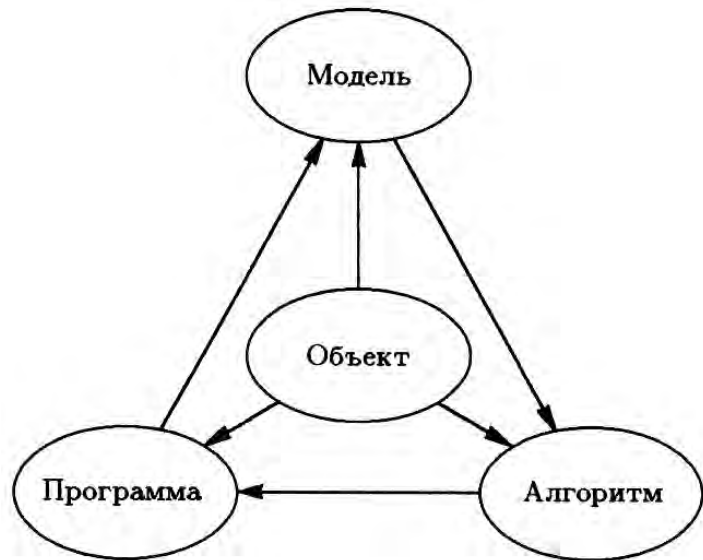


Рисунок – Схема этапов математического моделирования [1]

с местом свойства или стороны реального объекта, которое моделируется. Спецификой системной модели, таким образом, является то, что каждая модель системного описания воспринимается не как самостоятельная единица, а как из целостной системы моделей (системной модели). В этом случае моделирование выступает как средство решения задач системного исследования.

Связи моделирования и системного подхода, на первый взгляд, прослеживаются не всегда отчетливо – кажется это самостоятельные, параллельно развивающиеся методы. Дело в том, что в ряде случаев предшествующее моделированию системное представление объекта осуществляется на основе интуитивных представлений. Задача заключается в том, чтобы системное представление объекта сделать в полной мере осознанной операцией. Интуитивный подход к системному расчленению несложных объектов был, в известной степени, оправдан, поскольку в большинстве случаев это не влекло за собой серьезных ошибок при использовании моделирования. Ситуация существенным образом меняется, если речь идет об осуществлении системного представления сложных объектов.

Таким образом, моделирование в рамках системного подхода позволяет преодолевать отраслевой принцип построения знания, связывать исследование сложных объектов с экспериментом на ЭВМ, более полно представлять связи сложных объектов, что значительно повышает его познавательный потенциал в различных отраслях современной науки и техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. -М.: Физматлит, 2001. -320 с.
- 2 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.
- 3 Надежкин, А.В. Разработка системных принципов решения задач трибодиагностики судовых дизелей / А.В. Надежкин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1. -С. 212-215.
- 4 Берталанфи, Л. Фон. Общая теория систем: обзор проблем и результатов / Л. Фон Берталанфи // Системные исследования: ежегодник. -М., 1969. -С. 30-54.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система, модель, сложный объект, математическое моделирование, диагностика  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Шапошников Юрий Андреевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОДШИПНИКОВ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ**

ООО «Мидель»  
ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**С.С. Глушков, Б.О. Лебедев, В.В. Коновалов, Н.С. Ткаленко**

### **IDENTIFICATION OF DAMAGES OF BEARINGS OF THE SHIP LINE SHAFT**

Midship  
Novosibirsk state academy of water transport  
S.S. Glushkov, B.O. Lebedev, V.V. Konovalov, N.S. Tkalenko

Development of technologies of detection of malfunctions and identification in real time will allow to pass from expensive planned maintenance to more effective and less expensive alternative conditions of maintenance of ship line shaft during operation.

*Keywords: torsional fluctuations, ship line of shaft, bearings*

Развитие технологий обнаружения неисправностей и идентификации в реальном времени позволит перейти от дорогих запланированных технических обслуживаний на более эффективные и менее дорогостоящие альтернативные условия технического обслуживания судовых валопроводов во время эксплуатации.

При оценке технического состояния судовых энергетических установок требуются надежные способы выявления трещин, возникающих в деталях металлоконструкций валовых линий во время эксплуатации. Известно, что усталостное разрушение начинается и происходит в высоконагруженных опасных местах. Если элементы металлоконструкций без дефектов, то установить положение этих мест без разрушения часто невозможно, так как они, например, при асимметричном цикле нагружения, могут не совпадать с местами, где дейст-

вуют наибольшие максимальные напряжения. При использовании любых способов неразрушающего контроля, нет уверенности, что все возникающие при эксплуатации дефекты, опасные для конструкции будут обнаружены. На пример трещины, возникающие на силовых элементах в труднодоступных местах, которые невозможно обнаружить или можно пропустить при использовании существующих способов дефектоскопии. Поэтому актуальны исследования для разработки способов диагностики, которые не позволят пропустить дефект, возникающий в конструкции при наработке, особенно, если он опасен. Кроме того, для ответственных деталей в практике нужен не контроль по дефектам, а контроль по долговечности. Такую диагностику по долговечности судовых валопроводов предлагается проводить способами, основанными на периодическом измерении при наработке таких интегральных характеристик конструкций, как демпфирование и период собственных колебаний.

Процедура мониторинга или оценки технического состояния судовых энергетических установок обычно включает в себя сбор сигналов, анализ сигналов и выявление отказов. Сигналы в форме вибрации, звука, тока, давления и т.д. собираются различными типами датчиков.

Динамический анализ судовых валовых линий с повреждениями может быть разделен на два частных вида:

- анализ собственных форм колебаний без демпфирования;
- линейный динамический анализ переходных процессов.

Вычисление собственных форм и частот колебаний необходимо для решения задачи методом разложения отклика по собственным формам. Переходный процесс – отклик конструкции на произвольное динамическое воздействие, когда колебания не являются установившимися и складываются из собственных колебаний конструкции с развивающимися вынужденными колебаниями. Анализ переходных процессов может быть выполнен с помощью метода разложения перемещений по собственным формам колебаний без демпфирования. Колебания системы вычисляется как суперпозиция некоторого количества вычисленных собственных форм с неизвестными коэффициентами – обобщенными перемещениями.

Необработанные сенсорные данные, полученные в процессе мониторинга, как правило, носят случайный характер, следовательно, анализ сигнала используется для упрощения представления сигнала и извлечения полезных характерных компонент из сигнала. Для того чтобы снизить шум и улучшить отношение сигнал-шум применяются предварительные методы обработки, такие как фильтрация и сглаживание. В общем методы обработки сигналов основаны на временной или частотной областях. Методы анализа на основе частоты включают: спектральный анализ, кепстральный анализ, согласованную фильтрацию.

Одним из наиболее эффективных методов для оценки технического состояния судовых валопроводов является спектральный анализ из-за его способности распознавания каждого вращающегося элемента в процессе работы с их индивидуально идентифицируемыми частотами. Изменения при заданной частоте может быть связано с повреждением соответствующего элемента, например подшипника, находящегося в составе валовой линии. В обнаружении и оценке неисправностей используются эвристические подходы на основе статистического алгоритма распознавания образов, теории нечетких множеств и нейронных сетей, где значение снятого сигнала сравнивается с пороговым значением. Однако точность обнаружения зависит от порогового значения, которое обычно определяют эмпирически и эвристически.

В настоящее время наиболее распространенным методом для исследования вибрации, создаваемой, вращающимися механизмами является спектральный анализ. Наиболее распространенный способ спектрального анализа: время синхронного усреднения [1], которое состоит в синхронизации выборки данных по вибрации при вращении судового валопровода. Затем вычисляется средний сигнал вибрации в течение многих оборотов. Среднее время синхронных сигналов будет определяться исключительно воздействием вибраций, производимых подшипниками на определенном месте валопровода. Если одна из усталостных трещин в подшипнике локальна, то изменения будут появляться в средней вибрации во временной области. Случайная амплитуда со случайной фазовой модуляцией большей частью времени представляют эти изменения. Таким образом, спектр Фурье по средней временной области сигнала вибрации дефектного подшипника или другого механизма состоит из основной и гармонической сетки частот окруженный боковыми полосами модуляции. Фурье-анализ преобразует сигнал из временной или пространственной области в частотную [2]. Но при таком анализе неизвестно, в какой момент времени произошли события, сигнализирую-

щие о наличии и положении повреждения.

Одним из способов избежать потерь такой информации является применения оконного преобразования Фурье [3,4]. Подобная техника анализа позволяет представить ряд частотных спектров отклика на ограниченных временных промежутках – окнах. Но следует отметить, что точность полученных данных зависит от размеров окон и изменить разрешающую способность после выбора временного окна в пространственной/временной и частотной области невозможно.

Резюмируя, можно отметить тот факт, что большинство методов базирующихся на Фурье анализе, применяется с большими допущениями при составлении численных моделей конструкций и дают только глобальные сведения о частотах анализируемого отклика, так как используемая при этом система комплексных функций (экспонента и синусы или косинусы) определены на бесконечном интервале. Кроме того, высокочастотные составляющие имеют большую точность при извлечении из малых временных отрезков, чем низкочастотные.

Использование на практике подобных методов позволяет с высокой степенью достоверности установить факт наличия повреждений, но не их место нахождения и тем более степень развития. Связано это, прежде всего с тем, что ошибки в результаты анализа вносят внешние факторы, такие как шумы в сигнале, а также ряд преобразований в математическом моделировании: невозможность идентификации нелинейного поведения конструкции во времени и невозможность идентификации переходных процессов.

Перечисленные ограничения Фурье – преобразования можно избежать с использованием кратномасштабных методов в сочетании с методами обнаружения и оценки технического состояния критериальных деталей судовых валопроводов. Усредненный по временной области сигнал преобразуется в различные масштабы с использованием вейвлет-преобразования. На каждом уровне можно извлечь из вейвлет - преобразованного сигнала его временной регулярности с помощью линейных моделей авторегрессии скользящего среднего, а остаточная ошибка будет вычисляться на каждом уровне/масштабе. Заключительным этапом является функция извлечения из остаточной ошибки на каждом уровне/масштабе. Функция плотности вероятности остаточной ошибки раскладывается в полином Эрмита. Коэффициенты этого разложения используются как вектор для обнаружения и оценки признаков ранней усталостной трещины в критериальных деталях/подшипниках валопровода. Можно также отслеживать нестационарный сигнал, встроенный в остатки на каждом уровне/масштабе.

Обработка нестационарного сигнала была в центре внимания многих научных исследований в области машиностроения. Обнаружение и оценка параметров нестационарного сигнала является важной проблемой, потому что большая часть класса сигналов моделируются под стационарное предположение. Таким образом, обнаружение и оценка параметров выполняется очень медленно в нестационарной среде. Стационарность наблюдаемого процесса является важным понятием, поскольку она позволяет сделать ее инвариантной относительно сдвига распределения по времени. Процессы, в которых их статистика меняется со временем, называются нестационарными процессами.

Существует несколько методов для обнаружения нестационарной среды: быстрое преобразование Фурье (БПФ), распределение Вигнера-Вилле и кратномасштабные преобразования. БПФ анализирует преобразования сигнала с равномерной резолуцией по времени и частоте. Распределение Вигнера-Вилле представляет поперечное условие между различными компонентами сигнала. Но эти два метода не всегда подходят для переходных процессов. Кратномасштабные методы, в частности, вейвлет-преобразование является ключом к успеху обнаружения и оценки неисправностей в нестационарной среде. Вейвлет-преобразование получило большое внимание исследователей в течение последних десятилетий [5, 6]. Кратномасштабный алгоритм, разработанный специалистом Mallat [3] стимулировал большой интерес к теории вейвлетов применительно к обработке сигналов. Большинство вейвлет-преобразований были применены к детерминированной среде, только несколько методов вейвлет-преобразований были применены к стохастической и нестационарной среде.

Для оценки аномалий и поиске повреждений во вращающихся частях механизмов и трансмиссиях [7,8] используется показатель Гельдера [9]. Показатель Гельдера – характеристика гладкости функции в какой-либо точке, в контексте задачи идентификации повреждений по данным отклика – в каком-либо временном срезе. Так как повреждения в подшипниках хорошо локализованы, то показатель Гельдера может быть вычислен только для со-



ответствующих аномалий в исследуемом сигнале, которым соответствуют линии максимумов модуля вейвлет-преобразования.

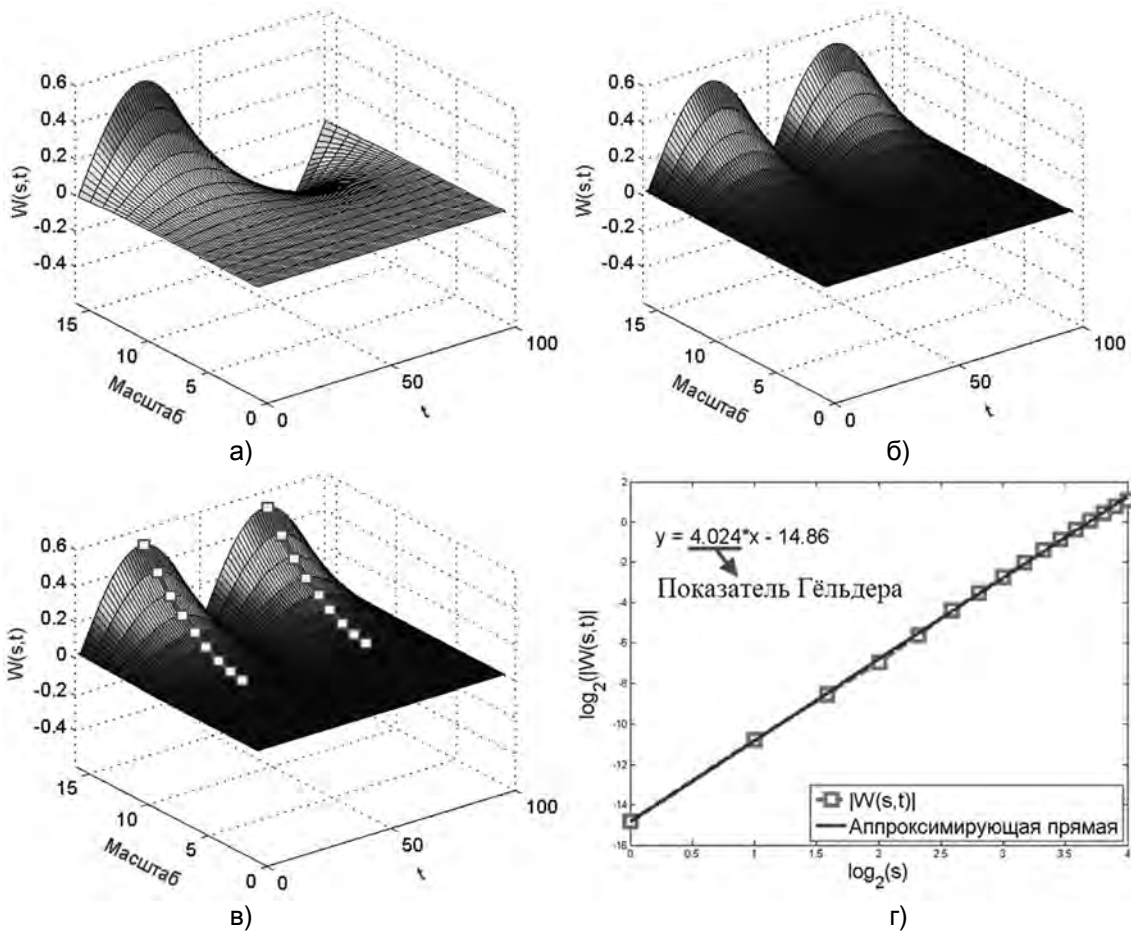


Рисунок – Пример вычисления показателя Гёльдера: а) вычисление вейвлет-коэффициентов сигнала, б) модуль вейвлет-коэффициентов сигнала, в) поиск линии максимумов, г) построение аппроксимирующей прямой и нахождение её наклона – показателя Гёльдера

Порядок расчета показателя Гёльдера как для каждого момента времени, так и для линии максимумов модуля вейвлет-преобразований отклика представлен на рисунке. Расчет показателя Гёльдера для каждого временного среза отклика ведется точно также с тем отличием, что не ищется линия максимумов модуля вейвлет-преобразования – этот шаг заменяется построением линии по значениям вейвлет-коэффициентов для конкретного шага времени.

Наиболее распространенные вещественные базисы конструируются на основе производных Функции Гаусса:

$$G^{(n)} = \frac{d^n [C_n \exp(-x^2)]}{dx^n}; C_n = \|G^{(n)}\|^2 = 1.$$

где  $n$  – степень дифференцирования.

Такие вещественные базисы имеют одни из наилучших показателей локализации во временной и в частотной областях. Особенность производной функции Гаусса как вещественного базиса – наличие большого числа нулевых точек – пересечений с осью абсцисс. Число нулевых точек увеличивается вместе со степенью дифференцирования функции Гаусса.

Процесс идентификации повреждений делится на три стадии:

- 1 Операционная оценка;
- 2 Сбор данных;
- 3 Выделение признаков.

На первом шаге – операционной оценке – выделяется конструкция и определяется класс повреждений, который может быть исследован. Определяются условия, в которых может быть выполнена запись сигнала для исследования (например, погодные условия,

влияние которых в общем случае можно постараться минимизировать).

На втором шаге – сборе данных и удалении помех – выполняется запись сигнала с датчика, расположенного на корпусе подшипника, в момент движения вала, после чего записанный сигнал должен подвергнуться оценке с точки зрения пригодности к исследованию. Следует отметить, что на этапе сбора данных отклик от датчика при вращении вала может быть записан несколько раз с целью повышения достоверности результатов.

На третьем шаге – выделении признаков – вычисляются показатели Гельдера. Вычисление показателей Гельдера может вестись двумя способами: для всего сигнала или для найденных линий максимумов модуля вейвлет-коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования. Найденные показатели Гельдера при этом будут отличаться, но эти два способа являются взаимодополняющими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 McFadden, P.D. Detecting fatigue cracks in gears by amplitude and phase demodulation of the meshing vibrations / P.D. McFadden // J. of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability in Design. -1986. -Vol.108. -P. 165-170.
- 2 Математическое моделирование вынужденных колебаний валовых линий судовых энергетических установок / С.П. Глушков, С.С. Глушков, В.В. Коновалов, Б.О. Лебедев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 237-242.
- 3 Mallat, S.G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation / S.G. Mallat // IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence. -1989. -Vol.11, №7. -P. 674-693.
- 4 Wang, W.J. Application of wavelets to gerorbox vibration signals for fault defekction / W.J. Wang, P.D. McFadden // J. of Sound and Vibration. -1996. -Vol.192, №5. -P. 927-939.
- 5 Rioul, O. Wavelet and Signal Processing / O. Rioul, M. Vitterli // IEEE Signal Processing Magazine. -1991. -P. 14-38.
- 6 Krim, H. Multiresolution Analysis of a Class of Nonstationary Processes / H. Krim // IEEE Trans. on Inform. Theory. -1995. -Vol.41, №4. -P. 1010-1020.
- 7 Shekarforoush, H. Denoising by extracting fraction order singularities / H. Shekarforoush, J. Zerubia, M. Berthod // IEEE International Conference on Aconstics, Speech and Signal Processing. -1998. -Vol.5. -P. 2889-2992.
- 8 Hambaba, A. Multircsolution error detekction on early fatigue cracks in gears / A. Hambaba, E. Huff // IEEE Proceedings, Aerospace Conference. -2000. -Vol.6. -P. 367-372.
- 9 Глушков, С.П. Идентификация повреждений в балочных пролетных строениях мостов на основе отклика проходящего по ним транспортных средств / С.П. Глушков, Н.А. Донец // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / ИрГУПС. -Иркутск, 2013. -№1(37). -С. 251-259.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *крутильные колебания, судовой валопровод, подшипники*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Глушков Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, директор ООО «Мидель»*  
*Лебедев Борис Олегович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Коновалов Валерий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Ткаленко Наталья Сергеевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630004, г.Новосибирск, а/я 129, ООО «Мидель»*  
*630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНОГО МАСЛА НА УТЕЧКУ РАБОЧЕГО ТЕЛА ИЗ ЦИЛИНДРА ДИЗЕЛЯ**

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

**В.В. Коновалов, Д.А. Сибриков**

**INFLUENCE OF VISCOSITY OF LUBRICANT OIL ON LEAKAGE OF THE WORKING BODY FROM THE DIESEL CYLINDER**  
 Novosibirsk state academy of water transport  
 V.V. Kononov, D.A. Sibrikov

Results of experiment on influence of viscosity of lubricant oil on a compression of the ship diesel are presented.

*Keywords: the lubricating oil, the compression pressure, diesel engine, viscosity*

Представлены результаты эксперимента по влиянию вязкости смазочного масла на компрессию судового дизеля.

При эксплуатации дизелей с изношенными деталями ЦПГ, возрастает рост утечек воздуха и рабочего тела из камеры сгорания в картер, что снижает компрессию и вызывает рост расхода топлива [1]. Более того, износ деталей ЦПГ сопровождается повышением расхода смазочного масла [2].

В работах [1, 2] показано, что избежать указанных выше негативных явлений можно путем повышения вязкости смазочного масла. Более детальное изучение влияния вязкости на компрессию дизеля требует проведения эксперимента. Для этой цели двигатель 2Ч8,5/11 прокручивался электродвигателем. После выхода на заданный температурный режим (ста-

билизация температуры масла) при помощи измерительного комплекса марки «Декарт-203» (конструкции НГАВТ) производилось измерение давления чистого сжатия. Измерение температуры масла, а также частоты вращения двигателя осуществлялись штатными приборами. Дизель находился в удовлетворительном техническом состоянии.

Испытания проводились на двух сортах смазочного масла: M10B2 и M16Г2ЦС, основные сведения по вязкости которых приведены в таблице.

Таблица – Кинематическая вязкость смазочного масла, сСт

Марка масла	Температура масла, °С					
	20	30	40	50	60	70
M10B <sub>2</sub>	127	112	96	79	65	48
M16Г <sub>2</sub> ЦС	279	246	212	177	142	108

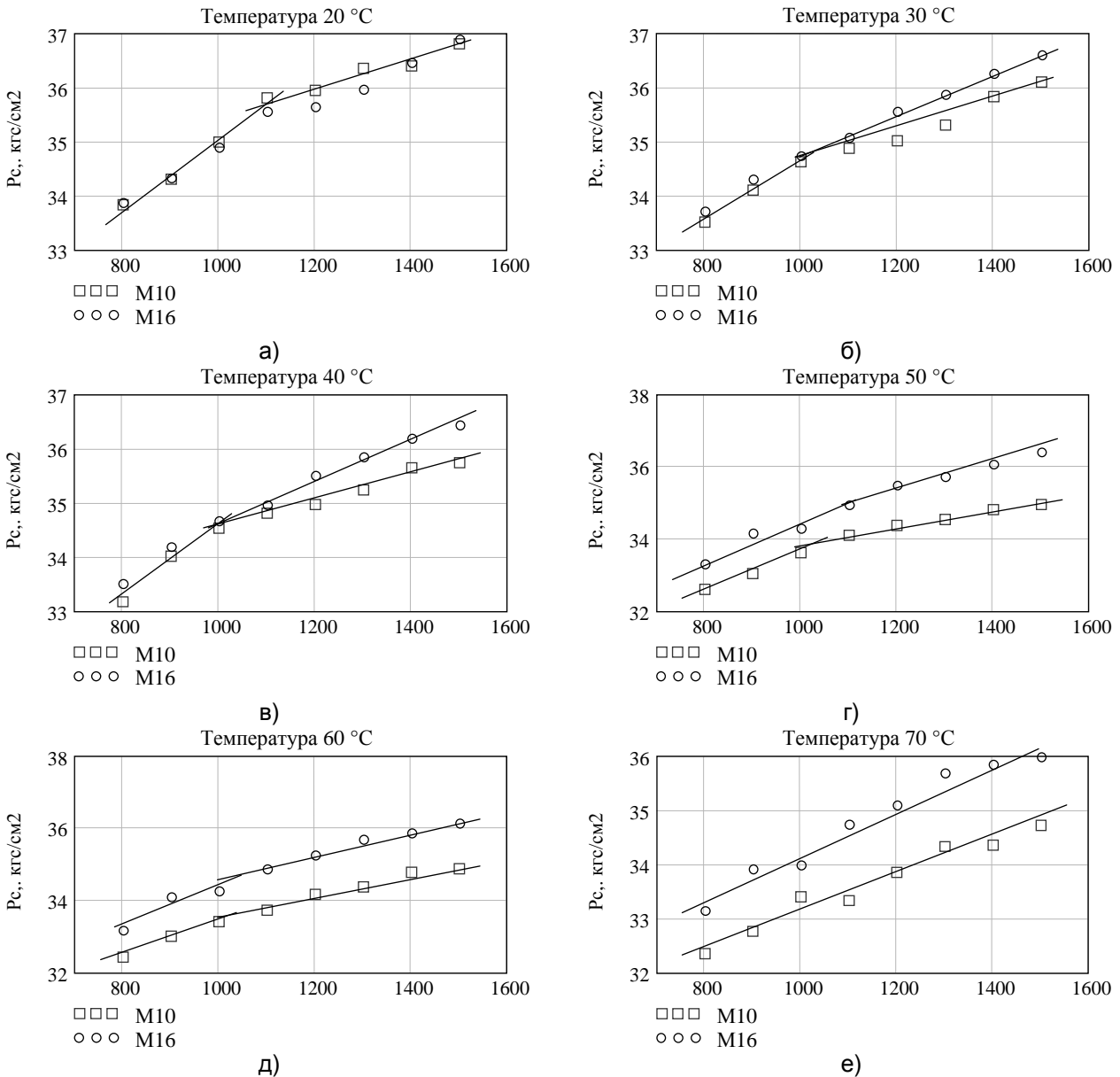


Рисунок 1 – Зависимость давления чистого сжатия от частоты вращения коленчатого вала при различной температуре смазочного масла

Результаты исследования приведены на рисунке 1. Анализируя эти материалы можно сделать следующие выводы:

1 Увеличение вязкости смазочного масла увеличивает компрессию двигателя. Этот эффект возрастает с повышением температуры масла (данные рисунков 1а и 1е).

2 Подтвержден результат падения давления сжатия при снижении частоты вращения коленчатого вала. Это явление объясняется увеличением времени утечки заряда за цикл. При низких температурах данная зависимость имеет явный перелом (см. рисунок 1а-г). При высоких температурах это явление элиминируется (см. рисунок 1е).

3 Для обобщения полученных данных на базе теории подобия требуется дальнейшее накопление опытного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Алипа, В.Л. Экспериментальное исследование влияния температуры охлаждающей воды на эффективный расход топлива двигателя, работающего по нагрузочной характеристике / В.Л. Алипа, Б.О. Лебедев // Сиб. науч. вестн. / Рос. акад. естеств. наук. -Новосибирск, 1997. -№1. -С. 51-53.

2 Зверев, П.Ю. Экспериментальное исследование влияния вязкости смазочного масла на его угар в дизелях / П.Ю. Зверев, В.В. Коновалов, Б.О. Лебедев // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосиби. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2001. -С. 20-21.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *смазочное масло, вязкость, давление сжатия, дизельный двигатель*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Коновалов Валерий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Сибриков Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА**

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

**А.А. Адеев**

**MATHEMATICAL MODELING OF UNDERGROUND RAILWAY VENTILATION SYSTEM**  
 Siberian state transport university  
 A.A. Adeev

Based on the analysis of mathematical modeling methods, the Ford-Fulkerson method is suggested for studying shallow underground railway ventilation systems.

*Keywords: mathematical modeling, ventilation system, underground railway, tunnels, air velocity, aerodynamic drag*

На основе анализа методов математического моделирования предложен метод Форда-Фалкерсона для исследования вентиляционных систем метрополитена мелкого заложения.

Исследования воздушных потоков в сетях метрополитена [1] показали, что при имеющихся габаритах вентиляционных путей и требуемых расходах воздуха режим его движения является турбулентным и закон потерь давления при движении воздуха по участку имеет вид:

$$\Delta P = RQ^2, \tag{1}$$

где  $\Delta P$  – потери давления на участке;  
 $R$  – сопротивление участка;  
 $Q$  – расход воздуха на участке.

Для решения задач воздухораспределения используются три закона:

1 Первый закон Кирхгофа. Расходы воздуха  $Q_i$  в ветвях  $v_j$  должны удовлетворять условию неразрывности во всех узлах

$$\sum Q_i = 0; i = 1, 2, \dots, n, \tag{2}$$

где  $n$  – число ветвей, инцидентных каждому узлу.

2 Второй закон Кирхгофа. Алгебраическая сумма депрессий  $P_j$  ветвей  $v_j$  любого замкнутого контура  $\mu$  равна нулю

$$\sum_j P_j = 0; j = 1, 2, \dots, m, \tag{3}$$

где  $m$  – число ветвей замкнутого контура  $\mu$ .

3 Принцип минимума мощности. Расходы воздуха ветвей  $v_k \in V$  с сопротивлением  $R_k$ , должны соответствовать минимуму затрат энергии на его перемещение

$$\sum_k R_k \times Q_k^3 = \min; k = 1, 2, \dots, V, \tag{4}$$

где  $V$  – множество всех ветвей в сети.

В рассчитываемой схеме вентиляции число ветвей и независимых контуров может достигать нескольких сотен. Совместное решение такого количества уравнений (1)-(4) без автоматизации затруднительно, а при многовариантных расчетах невозможно. В практике

анализа и расчета сложных вентиляционных сетей используются аналоговые и цифровые методы.

Аналоговый метод основан на аналогии законов распределения расхода и депрессии воздуха в вентиляционной сети и законами распределения тока и напряжения в электрической сети. Достоинства: скорость расчета, возможность измерения параметров в любой точке и моделирования динамики воздушных потоков, наглядность схемы. Недостатки: наличие специального комплекса, сложность настройки при изменении параметров.

При расчете на компьютере вентиляционную сеть представляют в виде графа [2]. Узлы графа соответствуют узлам вентиляционной сети, пропускная способность ветвей характеризуется аэродинамическим сопротивлением, ветви графа представляют участки вентиляционных трактов, источниками и стоками являются соединения с атмосферой. Методы решения воздухораспределения, как задачи нелинейного программирования делятся на прямые – дают возможность построить последовательность точек, сходящихся к точке оптимума (метод Абрахама, метод потенциалов, двойственный градиентный метод [2]), и не прямые – комбинированный метод (Форда-Фалкерсона) [3]. Метод Форда-Фалкерсона предполагает кусочно-линейную аппроксимацию целевой функции. Достоинства: конечность метода, реализация алгоритма решения на компьютере, оперативное изменение исходной информации, заданная точность, расчет в электронном виде. Недостаток: пригоден для статического воздухораспределения.

Проведенный анализ позволил выбрать метод Форда-Фалкерсона. Аэродинамическое сопротивление главных объектов исследования станций и тоннелей, составляет только 5-20% от общего сопротивления сети. Точность при расчетах дает моделирование всей линии [2], поэтому размерность сети составит порядка 40 узлов и 45 ветвей на одну станцию, а для 10 станций математическая модель будет включать систему уже из 1700 алгебраических уравнений. При детальном исследовании воздухораспределения это число возрастает минимум в 4 раза, поэтому для решения этих задач необходимо применять специальные программы для компьютера [4].

*Параметры модели вентиляционной сети линии метрополитена.* Для исследования вентиляционной сети необходимо иметь полные сведения о ее топологии и аэродинамическом сопротивлении ее участков. Основу схемы составляют станции и перегонные тоннели. Кроме тоннелей с выходами на земную поверхность, путями движения воздуха являются вентиляционные сооружения и пешеходные пути.

Исследования проводились на Новосибирском метрополитене. Для создания расчетной схемы изучена проектно-конструкторская документация, проведены обследования вентиляционных сооружений станций: геометрические размеры, топология, загроможденность пути следования воздуха стационарным оборудованием, параметры вентиляционных дверей (количество, угол раскрытия), параметры и состояние вентиляционных решеток, наличие утечек и перетечек воздуха. На основе уточненных данных проведен расчет аэродинамических сопротивлений всех ветвей сети.

При расчете аэродинамических сопротивлений движению воздуха по перегонным тоннелям с различными типами обделки, использованы данные [1]. Сопротивление пешеходных тоннелей прямоугольной формы и вентиляционных тоннелей произвольной формы определены с использованием данных [1, 3]. Местные сопротивления (сужения, расширения, повороты, разветвления и т.п.) рассчитаны с использованием [3]. На вентиляционных путях метрополитена существуют такие комбинации местных сопротивлений, для расчета которых пока нет аналитических формул. Существующие опытные данные недостаточны для учета взаимного влияния местных сопротивлений при различных комбинациях их расположения, поэтому коэффициент местного сопротивления принимается без учета возможного взаимовлияния, хотя в некоторых случаях оно может быть существенным. В таких случаях, в расчетах принято суммарное сопротивление последовательного ряда изолированных от влияния друг друга местных сопротивлений.

Местные сопротивления приведены из вида «безразмерный коэффициент местного сопротивления» к виду «коэффициент аэродинамического сопротивления», при параметрах тоннельного воздуха: температура 18 °С; атмосферное давление 101325 Па.

*Обобщенная модель линии метрополитена.* Выявлению общих закономерностей мешает «привязанность» модели к конкретной реальной сети с ее специфическими, присущими только ей особенностями. В связи с этим возникла необходимость разработать обоб-

ценную математическую модель вентиляционной сети метрополитена, обладающая общими свойствами, но лишенная этих особенностей.

Для разработки обобщенной сети потребовалось провести упрощение модели с использованием методов описанных в [5]. Основным ее элементом стал «перегон», который включает в себя станцию, станционную венткамеру, пассажирские пути, перегонные тоннели, вентсбойки и перегонную венткамеру. При расчете аэродинамических сопротивлений этих ветвей использованы усредненные значения для соответствующих участков вентиляционной сети метрополитена. В результате получена обобщенная модель, которой состоит из набора «перегонов» (рисунок 1).

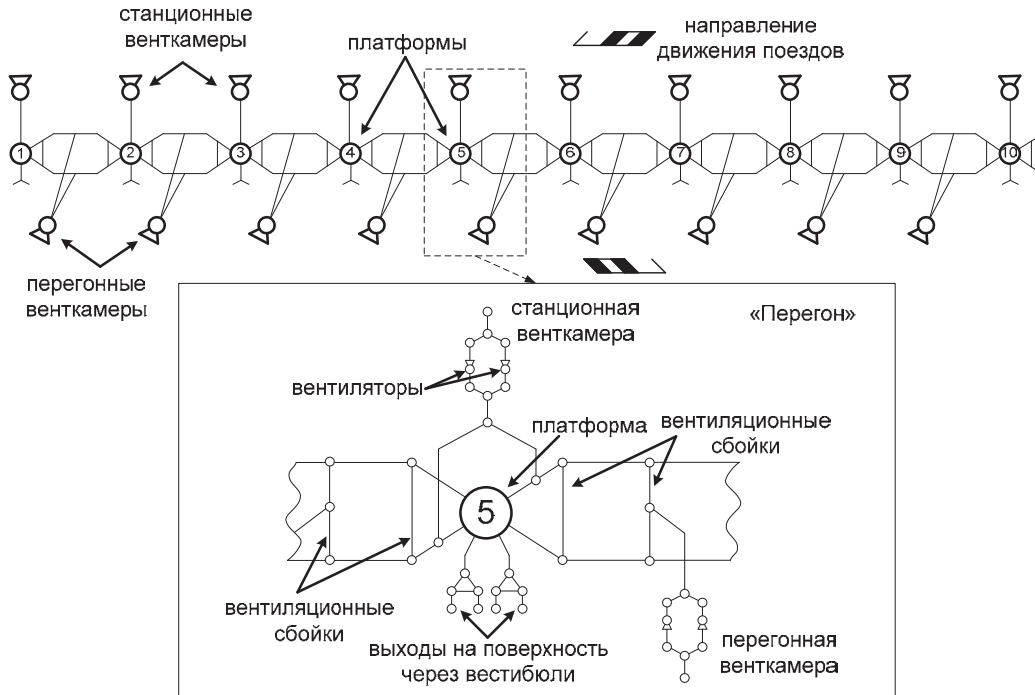


Рисунок 1 – Обобщенная расчетная схема вентиляционной сети

Количеством таких блоков «перегон» определяется длина линии. Эта модель вентиляционной сети может представлять линию с любым количеством станций и легко поддается исследованию. В представленной модели линий метро 10 станций: со стороны станции №1 линия ограничена тупиком, а станция №10 имеет выход на дневную поверхность. Такие линии применимы в метрополитенах мелкого заложения, например, в Новосибирске.

При расчете производительности вентилятора  $Q$  следует также учесть, что воздух подается на платформу через лестничные спуски и из двух тоннелей, подходящих к платформе со стороны, противоположной расположению станционной венткамеры (рисунок 2).

Из двух других тоннелей воздух не попадает на платформу, а движется непосредственно в венткамеру. Около 26% воздуха перемещаемого станционным вентилятором, поступает на платформу через лестничные спуски и только половина расхода воздуха, из оставшихся 74%, также проходит через платформу. Таким образом, воздух, проветривающий платформенный зал, составляет 63% от производительности вентилятора, то есть

$$Q_B = \frac{Q \times 100\%}{63\%}. \quad (6)$$

Если пренебречь потерями в вентиляционной камере в виде перетечек воздуха, то значение  $Q_B$  представляет производительность вентилятора для выполнения нормативных требований воздухообмена в пассажирских помещениях станций метрополитенов мелкого заложения.

Необходимо учитывать, что со временем вентиляционная сеть метрополитенов меняется, особенно, где интенсивно строится метрополитен. Вентиляционная сеть представляет собой связанную систему, в которой изменение параметров работы вентиляторов влияет на воздухораспределение в разных точках сети. Практика показала, что при попытке настроить режим работы вентилятора на одной из станций изменяются расходы воздуха на всех стан-

циях линии метрополитена. Поэтому требуется корректировать настройку вентиляционного оборудования на всей линии [2].

*Сопоставление результатов математического моделирования с данными натурного эксперимента.*

Представителями ВГСЧ и метрополитена провели натурные замеры скорости потока воздуха на путях эвакуации пассажиров со станции «Березовая роща» (односводчатая с островной платформой) Новосибирского метрополитена (рисунок 3). Замеры проводились сверху (А) и внизу (Б) лестничного спуска. Эксперимент проводился в ночное время, пассажиры и поезда отсутствовали, входные двери вестибюлей станции принудительно открыты. Вентиляторы в венткамере станции «Березовая роща» и вентиляторы в смежных со станцией перегонных венткамерах включены на вытяжку. В результате через сечение А значение скорости потока воздуха не превысило 1,6 м/с. Через сечение Б – 0,5 м/с.

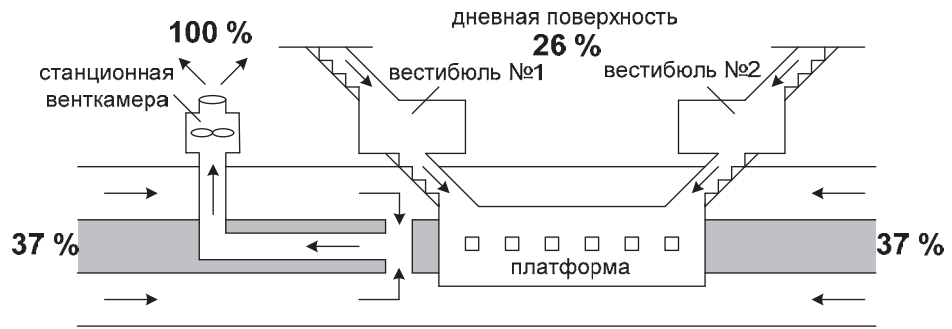


Рисунок 2 – Схема движения воздуха по станции

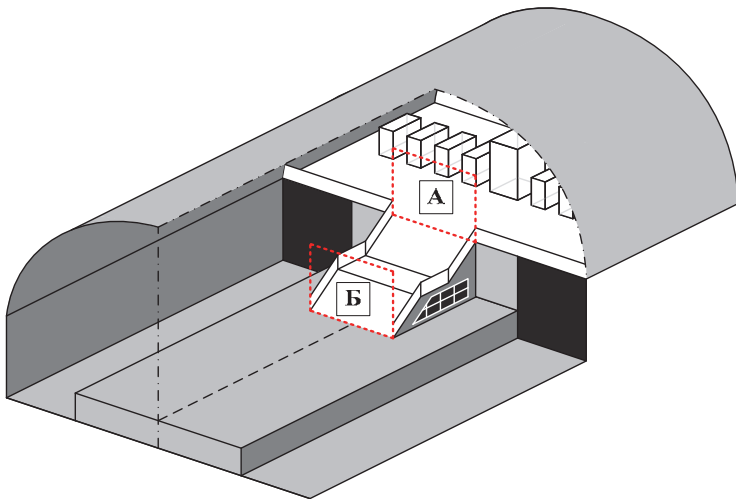


Рисунок 3 – Схема замера скорости воздуха на путях эвакуации пассажиров

На математической модели проведены численные эксперименты аварийного включения вентиляции на станции «Березовая роща».

По результатам моделирования для сечения А средняя скорость движения воздуха составила 1,56 м/с, для сечения Б – 0,7 м/с. Расхождение с результатами натурных замеров связано в первую очередь погрешностью измерений, так как замеры проводились только в нескольких точках, а не по всем точкам сечения, площади которых более 45 и 100 м<sup>2</sup> соответственно. Кроме того, в экспериментах принято допущение, неучитывающее влияние эвакуирующихся пассажиров, которые вносят существенное

влияние на воздухораспределение при прохождении дверных проемов вестибюля.

**Выводы:**

1 Проведенный анализ методов исследования позволил выбрать комбинированный метод Форда-Фалкерсона и реализацию его в виде компьютерной программы, для исследования воздухораспределения в вентиляционной сети метрополитена мелкого заложения.

2 Удовлетворительная сходимость результатов моделирования и натурных экспериментов позволяет исследовать воздухораспределение при аварийных ситуациях с достаточной степенью достоверности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Цодиков, В.Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В.Я. Цодиков. -М.: Недра, 1975. -237 с.
- 2 Красюк, А.М. Взаимное влияние режимов вентиляции станций линии метрополитена / А.М. Красюк, И.В. Лугин, А.Н. Чиришев // Метро и тоннели. -2002. -№2. -С. 36-38.
- 3 Воропаев, А.Ф. Тепловое кондиционирование рудничного воздуха в глубоких шахтах / А.Ф. Воропаев. -М.: Недра, 1979. -192 с.
- 4 Водяник, Г.М. Компьютерное моделирование вентиляционной сети шахты как динамического объекта / Г.М. Водяник // Компьютерное моделирование технологических процессов / Новочеркас. гос. техн. ун-т. -Новочеркасск, 1996. -С. 71-81.
- 5 Шепелев, С.Ф. Методические указания по составлению, упрощению, расчету и проектированию рудников / С.Ф. Шепелев.

лев, В.Ф. Слепых, Е.В. Вязниковцев; Акад. наук Казах. ССР, Ин-т гор. дела, Казах. комис. по борьбе с силикозом. -Алма-Ата, 1973. -160 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** математическое моделирование, вентиляционная система, метрополитен, тоннели, скорость воздуха, аэродинамическое сопротивление  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Адеев Андрей Александрович, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ**

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»  
ФГУП Государственный научный центр «Центральный научно-исследовательский институт им. акад. А.Н. Крылова»  
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»  
Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**Г.В. Шувалов, В.Н. Половинкин, А.П. Ильин, Д.В. Тихонов, И.В. Клековкин, О.А. Ясырова**

### **POWER CHARACTERISTICS OF PROCESS OF BURNING OF NANOPOWDER OF ALUMINIUM**

Siberian research institute of metrology  
Krylov shipbuilding research institute  
National research Tomsk polytechnic university  
Omsk institute of water transport, branch Novosibirsk state academy of water transport  
G.V. Shuvalov, V.N. Polovinkin, A.P. Ilyin, D.V. Tichonov, I.V. Klekovkin, O.A. Yasyrova

Experiments on measurement of power of a thermal stream when burning nanopowder of aluminum by means of the Termomet-1 device are made. It is established that the final products of burning contain aluminum nitride, aluminum oxide, oksinitrid aluminum and residual metal aluminum.

*Keywords: aluminum nanopowder, thermal stream, burning products*

Проведены эксперименты по измерению мощности теплового потока при горении нанопорошка алюминия с помощью прибора «Термомет-1». Установлено, что конечные продукты горения содержат нитрид алюминия, оксид алюминия, оксинитрид алюминия и остаточный металлический алюминий.

Нанопорошки алюминия (НПА) находят широкое применение в качестве энергетических добавок в ракетные топлива и пиротехнические смеси [1-3], в связи с чем целью работы является установление закономерностей процессов горения НПА и количественного измерения потоков теплового излучения.

Исследуемые образцы НПА получали с помощью электровзрывной экспериментальной установки УДП-4Г [4, 5], схема которой показана на рисунке 1. В качестве взрываемого проводника использовали проволоку диаметром 0,35 мм с содержанием алюминия 99,8% (масс.).

Фазовый состав нанопорошков определяли с использованием рентгеновского дифрактометра «Shimadzu» XRD-7000 ( $\text{CuK}\alpha$ ). Размер и форму частиц анализировали с помощью растрового микроскопа JSM-7500FA «Jeol». Площадь удельной поверхности нанопорошка измеряли с помощью метода низкотемпературной адсорбции азота (метод БЭТ).

Реакционную способность НПА определяли по четырем параметрам химической активности [6]:

- температуре начала окисления, °С..... 450;
- максимальной скорости окисления, мг/мин.....0,08 (при 450-650 °С);
- степени окисленности НПА, %..... 68,9;
- удельному тепловому эффекту окисления, Дж/г ..... 5956.

Для измерения мощностей тепловых потоков при сгорании НПА использовали прибор «Термомет-1» [7].

Перед тем, как поместить образец НПА в камеру «Термомет-1» (в дальнейшем «ТМ-1»), предварительно записывали термограмму и рассчитывали параметры активности исследуемого НПА (рисунок 2) и определяли устойчивость нанопорошка при комнатной температуре (пирофорность).



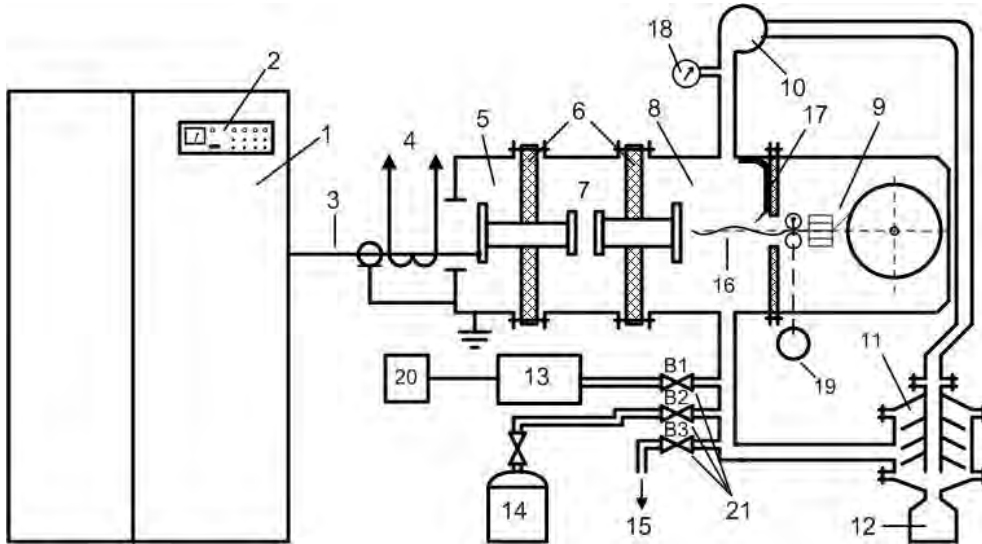


Рисунок 1 – Комбинированная схема электровзрывной установки УДП-4Г: 1-блок питания установки; 2-пульт управления; 3-высоковольтные кабели; 4-токовый шунт; 5-камера высоковольтного ввода; 6-проходные изоляторы; 7-разрядник; 8-взрывная камера; 9-механизм подачи проводника; 10-вентиль; 11-фильтр-уловитель нанопорошка; 12-сборник нанопорошка; 13-форвакуумный насос; 14-баллон с газом; 15-трубопровод для сброса газа в вытяжную вентиляцию; 16-взрывающийся проводник; 17-заземленный электрод; 18-мановакууметр; 19-двигатель механизма подачи проводника; 20-пульт управления форвакуумным насосом; 21-газовые краны

Основной тепловой поток от горящего НПА выделяется в первом максимуме до 660 °С, и это тепловыделение вносит основной вклад в общий тепловой поток: на этой стадии горения окисляется большая часть металлического алюминия – 69% и выделяется 5956 Дж/г теплоты.

Типичная зависимость изменения мощности теплового потока от времени при горении НПА показана на рисунке 3.

Видно, что для НПА характерны две стадии горения: первая относительно медленная (с момента зажигания до 20-ой секунды) и вторая более быстрая. Для первой стадии горения характерна средняя скорость возрастания мощности теплового потока 2,19 Вт/(с·м<sup>2</sup>), а для второй стадии 3,79 Вт/(с·м<sup>2</sup>).

Фазовый состав продуктов сгорания анализировали с помощью РФА, результаты приведены на рисунке 4. Основной кристаллической фазой в продуктах горения НПА является нитрид алюминия.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено:

1 Процесс горения НПА как на первой, так и на второй стадиях отличается от горения горючих материалов в массивном состоянии своей нестационарностью.

2 Характерным свойством НПА является зависимость удельной мощности теплового потока от массы горящей навески.

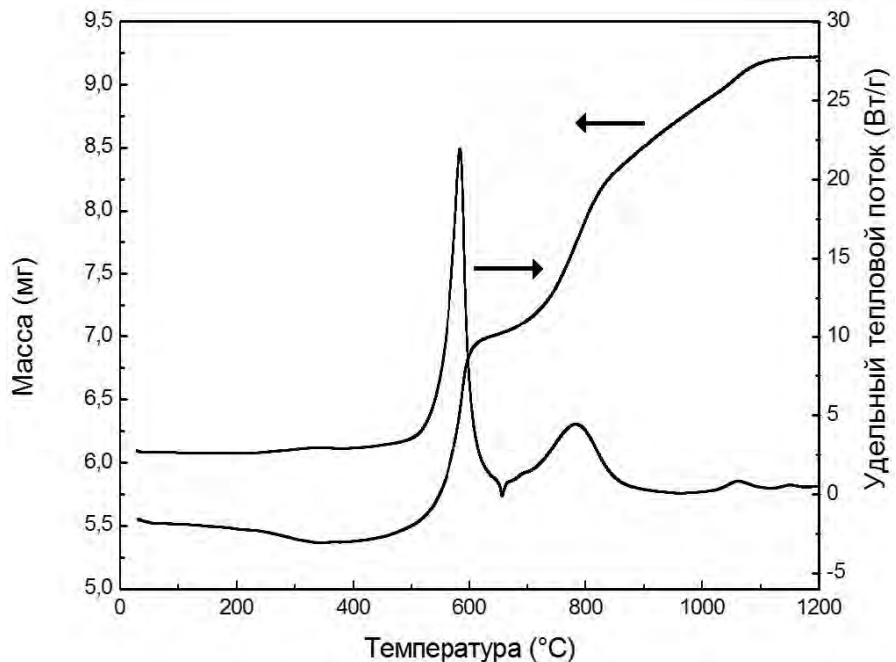


Рисунок 2 – Термограмма нанопорошка алюминия (скорость нагрева 10 °С/мин., атмосфера – воздух)

3 Мощность теплового потока зависит от соотношения оксида и нитрида алюминия в составе конечных продуктов сгорания (837 и 320 кДж/моль, соответственно).

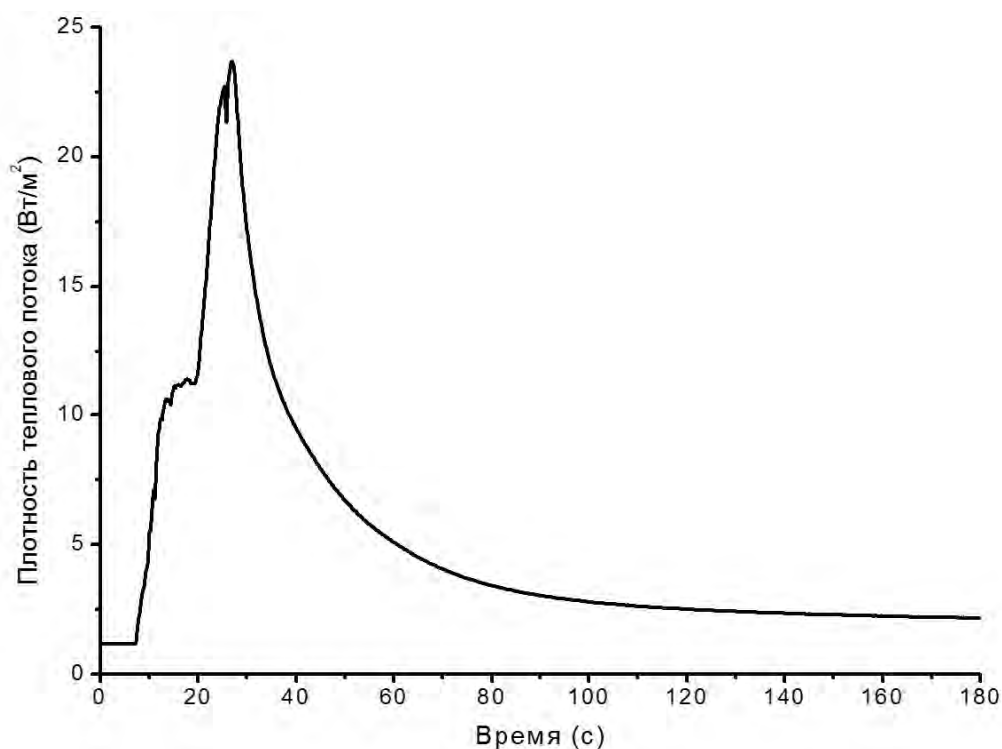


Рисунок 3 – Зависимость плотности теплового потока от времени при горении НПА (масса навески 0,812 г)

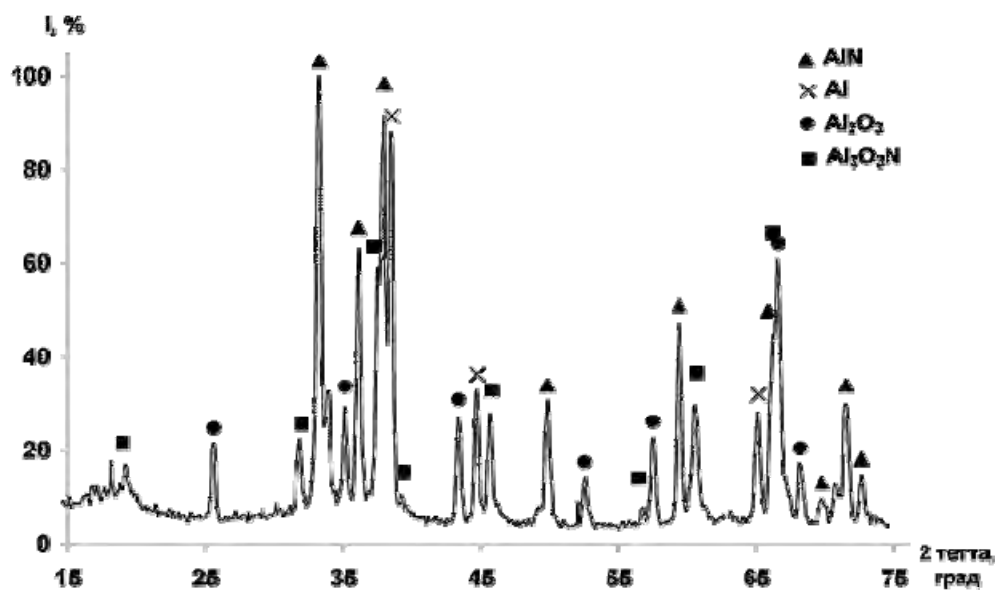


Рисунок 4 – Рентгенограмма продуктов сгорания в воздухе нанопорошка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сарнер, С. Химия ракетных топлив: пер. с англ. / С. Сарнер; под ред. В.А. Ильинского. -М.: Мир, 1969. -448 с.
- 2 Диагностика металлических порошков / В.Я. Буланов [и др.]. -М.: Наука, 1983. -278 с.
- 3 Ильин, А.П. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии / А.П. Ильин, А.А. Громов. -Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002. -154 с.
- 4 Назаренко, О.Б. Формирование наночастиц в условиях электрического взрыва проводников / О.Б. Назаренко, Д.В. Тихонов. -Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2008. -87 с.
- 5 Электровзрывной синтез ультрадисперсных порошков сплавов и интерметаллических соединений / Е.И. Азаркевич, А.П. Ильин, Д.В. Тихонов, Г.В. Яблуновский // Физика и химия обработки материалов. -1997. -№4. -С. 85-88.
- 6 Ильин, А.П. Об активности порошков алюминия / А.П. Ильин, Г.В. Яблуновский, А.А. Громов // Физика горения и взрыва. -2001. -Т.37, №4. -С. 58-62.
- 7 Госстандарт РФ. МИ 109-2011. Методика измерений теплового потока при горении нанопорошков металлов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нанопорошок алюминия, тепловой поток, продукты горения  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора ФГУП «СНИИМ»  
Половинкин Валерий Николаевич, докт. техн. наук, референт директора ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»  
Ильин Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
Тихонов Дмитрий Васильевич, канд. техн. наук, ассистент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
Клековкин Иван Владимирович, заместитель начальника лаборатории ФГУП «СНИИМ»  
Ясырова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»  
196158, г.Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»

**С.В. Горелов, Р.В. Манчук, Г.Р. Манчук, В.В. Коновалов, Г.В. Ситников, Г.Е. Солнцев**

**HEAT CALCULATION OF PHYSICAL COMPOSITE STRUCTURES FOR POWER PLANTS IN NORTHERN REGIONS OF RUSSIA**  
Novosibirsk state academy of water transport  
Novosibirsk state university of architecture and civil engineering  
S.V. Gorelov, R.V. Manchuk, G.R. Manchuk, V.V. Konovalov, G.V. Sitnikov, G.E. Solntsev

The methods of calculation of thermophysical composite structures for electro-thermal protection subgrade governmental concrete hydraulic structures from freezing, which allows to determine the structural and technical skie characteristics of the system with regard to the size and structure of the external temperature conditions.

*Keywords: composite materials, concrete conductive (betel), power plants, electrothermal protection, permafrost, isotherm, power, model*

Предложена методика теплофизического расчёта композитной конструкции для электротепловой защиты грунтового основания бетонных гидротехнических сооружений от промерзания, позволяющая определить конструктивные и технические характеристики системы с учётом размеров сооружения и внешних температурных условий.

Климат района строительства электрических станций и подстанций в северных регионах России, например, Вилюйской ГЭС-3, резко континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким теплым летом. Средняя многолетняя температура составляет минус 10 °С. Район строительства находится в зоне распространения многолетнемерзлых пород, мощность которых достигает 300 м.

Бетонные сооружения ГЭС возводятся в пределах руслового талика (до 15 м), сложенного из суглинисто-щебенистых пучинистых грунтов – продуктов выветривания мергелей и известняков.

При возведении ГЭС в таких условиях возникает необходимость в защите от промерзания грунтового основания бетонных сооружений в процессе их строительства.

Для этих целей применяют различные способы: грунтовые засыпки, теплоизолирующие покрытия из вспененных полимерных материалов, специальные (временные) сооружения – «тепляки», обогреваемые теплогенераторами. Эти способы дороги, требуют значительных непроизводительных затрат и, зачастую, экологически вредны.

На строительстве Вилюйской ГЭС-3 в основном применялись грунтовые засыпки (высотой до 6-7 м), которые в процессе строительства необходимо было удалять, что приводило к значительным непроизводительным затратам.

Недостатки существующих способов защиты определили актуальность разработки технологий защиты грунта от промерзания в период строительства гидросооружений.

Для решения проблемы защиты грунтового основания бетонных сооружений Вилюйской ГЭС-3 от промерзания было предложено [1-3] использовать объёмные электрические нагре-

ватели из композитного электропроводного бетона (бетэла). В целях проверки этих предложений на Вилюйской ГЭС-3 был создан экспериментальный полигон и проведены опытно-производственные испытания тепловой защиты. Испытания показали техническую эффективность применения для этих целей бетэловых нагревателей и явились основой для выполнения экспериментально-теоретических исследований по обоснованию технических параметров тепловой системы в широком диапазоне реальных условий эксплуатации и температур, разработку конструктивных решений тепловой системы, системы измерения, контроля и регулирования температуры.

Очевидно, что наилучшим при создании тепловой защиты является устройство сплошного греющего слоя, обеспечивающего при минимальных затратах энергии равномерную температуру на всей поверхности грунтового основания. Однако, решить тепловую защиту в таком варианте невозможно, как по требованиям предъявляемым к основанию ГЭС, так и по технологическим сложностям изготовления столь большого плоского композитного нагревателя [3].

Наихудшим по технико-экономическим показателям является использование точечных (или близких к ним) источников тепла (ТЭНы, спирали, проволока), так как в этом случае резко возрастают необходимые электрические мощности, температура на поверхности нагревателя и, как следствие, температура грунта вблизи нагревателя. В силу плохой теплопроводности грунта и бетона резко возрастает неравномерность теплового поля в грунте и вероятность локального перегрева вблизи нагревателя.

Бетэловые нагреватели – объёмные источники тепла с развитой греющей поверхностью. Они позволяют создать компромиссный вариант тепловой защиты. При этом основной задачей разработки является выбор схемы размещения нагревателей в плоскости, обеспечивающей наибольшую равномерность теплового поля и исключающей возможность замораживания грунта в критических точках схемы при допустимых его температурах вблизи нагревателя.

Выбор оптимальной геометрии размещения дискретных композитных греющих элементов должен обеспечить согласование допустимой температуры на поверхности нагревателя с нулевой изотермой теплового поля в критической точке схемы, при достаточной степени заполнения площади греющей поверхностью нагревателей.

Последнее весьма важно, поскольку увеличение доли поверхности защищаемого грунтового основания укрытой поверхностью нагревателя с одной стороны увеличивает надёжность тепловой защиты (в пределе приближаясь к варианту сплошного нагревателя), с другой увеличивает стоимостные показатели системы.

Известно, что наибольшую равномерность и степень заполнения имеет плотная гексагональная упаковка. В этой упаковке центры тяжести упакованных тел равноудалены друг от друга и находятся в вершинах равностороннего треугольника.

Меняя степень раздвижки нагревателей, можно менять степень заполнения упаковки, сохраняя общую равномерность распределения нагревателей в плоскости и регулировать удаление критической точки от боковой поверхности нагревателя.

Параметры рациональной упаковки можно оценить, проведя упрощённый расчёт тепловой мощности бетэловых нагревателей, необходимой на компенсацию тепловых потерь с поверхности бетона при воздействии на неё отрицательных температур окружающей среды.

Удельные теплототери  $q$  поверхности бетона можно рассчитать по выражению

$$q = \frac{T_1 - T_2}{r},$$

где  $T_1$  – расчётная температура воздуха, К;

$T_2$  – контрольная температура поверхности грунта, К;

$r$  – термическое сопротивление бетона

$$r = \frac{\delta_6}{\lambda_6},$$

$\delta_6$  – толщина бетона, м;

$\lambda_6$  – коэффициент теплопроводности бетона, Вт/(м·К).

Степень раздвижки нагревателей должна обеспечивать температуру грунта в наиболее удалённой от нагревателя точке (критической точке) не ниже – 273 К. При выбранной схеме размещения и ориентации нагревателей часть расстояния до критической точки перекрыва-

ется телом нагревателя на длину  $250/2=125$  мм. С учётом этого удаление критической точки (нулевой изотермы) от боковых граней бетэлового нагревателя может быть определено по формуле

$$Q_x = -\lambda_{\text{б}} \frac{dT}{dx} + 0,125,$$

где  $Q_x$  – плотность теплового потока в направлении  $x$ ;  
 $dT$  – температура на поверхности нагревателя;  
 $\lambda_{\text{б}}$  – коэффициент теплопроводности бетона.

Температура на поверхности бетэлового нагревателя зависит от его электрического сопротивления и рабочего напряжения. Чем ниже сопротивление при фиксированном напряжении, тем выше температура и рассеиваемая тепловая мощность. Температура на поверхности растёт и с ростом напряжения при фиксированном сопротивлении нагревателя. Применительно к тепловой системе, из бесконечного количества возможных вариантов, необходимо выбрать нагреватель, обеспечивающий технические характеристики в соответствии с требованиями. При этом его рабочее напряжение должно быть согласовано с напряжением типовых источников электрической мощности и отвечать требованиям безопасной эксплуатации на объекте.

Наилучшим с этих точек зрения является бетэловый нагреватель с сопротивлением  $(10 \pm 2)$  Ом. При безопасном рабочем напряжении 36 В на поверхности нагревателя достигается температура – (328-333) К и мощность (120-130) Вт [1, 3].

При анализе температурных режимов реальной системы полученные результаты необходимо уточнить с учётом всех факторов.

По этой модели под слоем бетона  $h_{\text{б}}$  расположены нагреватели с центрами в вершинах равнобедренных треугольников. Грунт под бетоном до глубины  $h_{\text{ме}}$  талый. Граница фазового перехода  $\xi(T)$  – подвижна. На границе учитывается скрытая теплота фазовых переходов вода-лёд. На глубине  $h_{\text{ме}}$  грунт вечномёрзлый и имеет постоянную температуру.

В трёхмерном варианте расчёт производится в предположении сосредоточенных в точках источниках тепла и позволяет получить верхнюю оценку требуемой мощности нагревательных элементов. В одномерном варианте используется предположение о равномерной распределенности источников тепла на границе раздела бетон-грунт, что даёт нижнюю оценку мощности нагревательных элементов.

Аналитическое решение по этой модели может быть получено при использовании классического условия Стефана для несвязных грунтов на границе мёрзлый грунт-талый грунт.

Необходимо отметить, что в [4] для решения задач строительства в суровых климатических условиях предложена новая концепция задачи Стефана, учитывающая динамику фазовых процессов вода-лёд при промерзании (протаивании) несвязных и связных грунтов и более точно описывающая процессы промерзания – протаивания в связных грунтах. Эти процессы, как отмечено в [4] необходимо учитывать: при обосновании способов подготовки грунтов зимней и ранней весенней разработке, при охлаждении вечномёрзлых грунтов с целью повышения их термической устойчивости, при зимнем бетонировании буронабивных свай и др.

Назначение тепловой системы – недопустить промерзание грунтового основания (руслового талика), то есть исключить возможность фазовых переходов вода-лёд. В силу этого представляется правомерным применение классической задачи Стефана для несвязных грунтов.

В этом случае тепловой процесс описывается уравнением теплопроизводности

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad} T) + q_v,$$

где  $q_v$  – количество теплоты, выделяемое объёмно-распределёнными источниками теплоты, Вт/м<sup>3</sup>;  
 $c$  – удельная теплоёмкость, Дж/(м<sup>3</sup>·К);  
 $\rho$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  
 $t$  – время, с.

На поверхности замерзания  $Z = \xi(T)$  выполняются условия

$$T(\xi + 0, t) = T(\xi - 0, t) = T^* ;$$

$$\lambda_{me} \frac{\partial T}{\partial Z} \Big|_{Z=\xi-0} - \lambda_{me} \frac{\partial T}{\partial Z} \Big|_{Z=\xi+0} = -q_{пл} \rho \frac{\partial \xi}{\partial t} ,$$

где  $T^*$  – температура таяния грунта, К;

$q_{пл}$  – скрытая теплота фазовых переходов вода-лёд при замерзании (оттаивании) грунтовой влаги.

Разрывные условия на границе фазового перехода могут преобразоваться методом сглаживания, что изменяет определение удельной теплоёмкости и коэффициента теплопроводности, так как вводятся эффективные их значения.

Эффективная удельная теплоёмкость

$$\bar{c} = c + q_{пл} S(T - T^*, \Delta T) ,$$

где  $S$  – образная функция  $S(T - T^*, \Delta T)$  отличная от нуля на интервале  $(T^* \pm \Delta T)$ , удовлетворяющая условию нормировки

$$\int_{T^* - \Delta T}^{T^* + \Delta T} S(T - T^*, \Delta T) \delta T = 1 .$$

Эффективный коэффициент теплопроводности  $\bar{\lambda}$  совпадает с  $\lambda_{me}$ , если  $T > T^* + \Delta T$  и с  $\lambda_{me}$ , если  $T < T^* - \Delta T$ , при этом на интервале  $\Delta T$  задаётся линейный закон «размазывания» коэффициента теплопроводности.

Граничные условия уравнения теплопроводности для расчётной области задаются в виде

1 На поверхности бетона ( $Z = 0$ ) граничные условия III-го рода, формирующие закон теплообмена с воздушной средой (закон Ньютона-Рихмана)

$$\alpha [T_{\delta} - T_{cp}(t)] \Big|_{Z=0} = \lambda_{\delta} \frac{\partial T}{\partial Z} \Big|_{Z=0} ,$$

где  $T_{cp}(t)$  – температура воздушной среды;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

2 На поверхности раздела бетон-грунт ( $Z = h_{\delta}$ ) граничные условия IV-го рода

– равенство температур

$$T_{\delta} \Big|_{Z=h_{\delta}} = T_{me} \Big|_{Z=h_{\delta}} ;$$

– равенство тепловых потоков

$$\lambda_{\delta} \frac{\partial T_{\delta}}{\partial Z} \Big|_{Z=h_{\delta}} = \lambda_{me} \frac{\partial T_{me}}{\partial Z} \Big|_{Z=h_{\delta}} .$$

3 На глубине вечномерзлого грунта ( $Z = h_{me}$ ) с постоянной температурой граничные условия I-го рода

$$T \Big|_{Z=h_{me}} = T_{me} = \text{Const} .$$

На боковых плоскостях призмы расчётного объёма условие симметрии совпадает с условием равенства нулю тепловых потоков через эти плоскости. В частности

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=\overline{OB}} = 0 ; \quad \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=\overline{OA}} = 0 ,$$

на границе ОА

$$\frac{\partial T}{\partial x} \cos(\overline{OA}, \vec{x}) + \frac{\partial T}{\partial y} \cos(\overline{OA}, \vec{y}) = 0 .$$

Последнее условие можно записать в виде

$$\frac{\partial T}{\partial x} = k_{xy} \frac{\partial T}{\partial y} ; \quad k_{xy} = - \frac{\cos(\overline{OA}, \vec{y})}{\cos(\overline{OA}, \vec{x})} .$$

В качестве начальных условий задаются значения температуры, вычисляемые по формуле

$$T(Z, t_{нач}) = T_{ампл} \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega_{год}}{2\alpha^2}} Z\right) \cos\left(\sqrt{\frac{\omega_{год}}{2\alpha^2}} Z - \omega_{год} t_{нач}\right) ,$$

где  $T_{ампл}$  – амплитуда годового графика изменения температуры, задаваемая соотношением

$$T(0, t) = T_{ампл} \cos \omega_{\text{год}} = T_{ампл} \cos(2\pi/t_{\text{год}});$$

$\alpha^2$  – коэффициент температуропроводности

$$\alpha^2 = \frac{\lambda}{c\rho};$$

Начальная температура  $t_{\text{нач}}$  и амплитуда годового графика изменения температуры  $T_{\text{ампл}}$  принимаются по графику изменения температуры наружного воздуха.

Уравнение теплопроводности (3) в одномерной постановке

$$\tilde{c}\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left( \tilde{\lambda} \frac{\partial T}{\partial Z} \right) + q_v;$$

и трёхмерной постановке

$$\tilde{c}\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X} \left( \tilde{\lambda} \frac{\partial T}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left( \tilde{\lambda} \frac{\partial T}{\partial Y} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left( \tilde{\lambda} \frac{\partial T}{\partial Z} \right) + q_v,$$

решаются разностным методом путём прямых и обратных прогонок по  $X, Y, Z$ -координатам поочередно.

Изложенные методические подходы расчёта параметров электротепловых систем применены при разработке и монтаже тепловой системы защиты грунтового основания Вилъюйской ГЭС-3. Они позволили выбрать оптимальное конструктивное решение тепловой системы и сформулировать алгоритм работы системы контроля температуры грунта и управления тепловой мощностью нагревателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Горелов, С.В. Резистивные композиты в энергетике: в 2 ч. / С.В. Горелов, Р.В. Манчук; под ред. В.П. Горелова. - Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2000.: Ч.1: Основы технологии и электропроводности. -240 с.; Ч.2: Параметры резисторов и области применения. -210 с.
- 2 Разработка резистивных композиционных материалов в России / Г.Р. Манчук, С.В. Горелов, П.В. Горелов, В.П. Прохоров // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2002. -№1. -С. 84-90.
- 3 Манчук, Р.В. Электротепловая защита грунтового основания ГЭС от промерзания / Р.В. Манчук // Изв. высш. учеб. заведений. Строительство. -2004. -№5. -С. 64-69.
- 4 Постановка классической задачи Стефана для промерзающих (протаивающих) связных грунтов / Ю.А. Попов [и др.] // Изв. высш. учеб. заведений. Строительство. -2004. -№10.-С. 107-112.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** композитные материалы, бетон электропроводной (бетэл), электрические станции, электротепловая защита, многолетнемёрзлые породы, изотерма, мощность, модель

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Горелов Сергей Валерьевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Манчук Руслан Владимирович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГАСУ»  
 Манчук Глеб Русланович, ведущий инженер ФГБОУ ВПО «НГАСУ»  
 Коновалов Валерий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Ситников Григорий Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Солнцев Григорий Егорович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 630008, г.Новосибирск, ул.Ленинградская, 113, ФГБОУ ВПО «НГАСУ»

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНДУКТИВНОЙ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОМЕХИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.М. Денчик

METHOD OF DETERMINING THE CONDUCTIVE LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE WITH MAINS HARMONIC ACTIONS

Novosibirsk state academy of water transport  
Ju.M. Denchik

The technique of definition of conductive low-frequency electromagnetic interference in the power grid due to a sine wave voltage. An example of calculation of the interference in the existing 10 kV network.

Keywords: electromagnetic interference, quality of supply, electric power supply system, generating function, the probability of occurrence

Изложена методика определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи в электрической сети, обусловленная не синусоидальностью напряжения. Приведён пример расчёта этой помехи в действующей сети 10 кВ.

Несинусоидальность напряжения как вид искажения представляет наибольшую опасность для региональных электроэнергетических систем (ЭЭС) с недостаточно мощным интегральным показателем (полной мощностью трёхфазного короткого замыкания  $S_k$ , МВ·А), характерных для удалённых районов Сибири. Качество функционирования систем электропитания общего назначения (СЭС) заметно снижается, если [1]

$$S_k/S_H < 50, \quad (1)$$

где  $S_H$  – суммарная нелинейная нагрузка, преимущественно состоящая из вентильных преобразователей, МВ·А.

При несинусоидальном напряжении появляются кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи (ЭМП) по коэффициентам искажения синусоидальности кривой напряжения и  $n$ -ой гармонической составляющей. Из-за этого обостряется проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств.

Для определения этих помех с целью их подавления используются показатели качества электроэнергии ( $K_U, K_{U(n)}$ ), полученные с помощью измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) типа «Омск-М» в течение расчётного времени (24 ч). При этом коэффициент  $K_U$  имеет признаки интегрального характера, так как обуславливается всеми высшими гармоническими составляющими, поэтому в значительной степени определяет электромагнитную обстановку (ЭМО) в СЭС общего назначения. В связи с этим в данной статье излагается методика определения кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения.

Национальный стандарт Российской Федерации (ГОСТ Р 54149-2010) не рассматривает представленные качества электроэнергии (КЭ) в качестве уровней электромагнитной совместимости для кондуктивных электромагнитных помех и предельных значений кондуктивных электромагнитных помех, создаваемых оборудованием электроустановок потребителей электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [2]. Поэтому в дальнейшем используются нормы КЭ, установленные в межгосударственном стандарте (ГОСТ 13109-97). Этим стандартом [3] установлены уровни ЭМС технических средств в электрических сетях по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, которые характеризуются нормально допустимым значением  $K_{U,n}$  и предельно допустимым значением  $K_{U,n}$ . Однако, ЭМС обеспечивается в том случае, если усреднённые (интегрированные) оценки  $K_U$  не выходят за предельно допустимый уровень, а в течение не менее 95% времени каждых суток не выходят за пределы нормально допустимого значения. Нормально допустимые и предельно допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в точке общего присоединения к электрическим сетям с раз-



ным номинальным напряжением  $U_n$  приведены в [3].

Величина  $K_U$  является непрерывно распределённой случайной величиной, зависящей от многих случайных событий. Измеренные ИВК за расчётный период значения  $K_U$  и усреднённые по интервалам образует множество

$$\left( K_{U1}, K_{U2}, K_{U3}, \dots, K_{Ui}, \dots, K_{Un} \right), \quad (2)$$

$$\left( P_1, P_2, P_3, \dots, P_i, \dots, P_n \right),$$

где  $K_{Ui}$  – различные значения коэффициента  $K_U$  в течение суток, %;

$P_i$  – вероятности появления значений этого коэффициента.

Это множество является полем событий, в котором содержатся как нормально допустимые (достоверные) значения, так и нестандартные значения, которые не отображают ЭМО в сети [1,3].

Процесс возникновения кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения представляется математической моделью

$$K_U \left[ (K_{U,n} < K_U < K_{U,n}) > 0,05; P(K_{U,n} < K_U < \infty) \neq 0 \right] \subset \delta K_U$$

где  $\delta K_U$  – кондуктивная низкочастотная ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, %.

Таким образом кондуктивная ЭМП  $\delta K_U$  появляется в сети тогда, когда вероятность нахождения величины  $K_U$  в течение суток в пределах  $(K_{U,n}; \infty)$  превышает 0,05, а в пределах  $(K_{U,n}; K_{U,n})$  не равна нулю. Помеха появляется также при выполнении только одного условия (рисунок 1).

Интегральная функция распределения случайной величины  $K_U$  в интервале  $(K_{U,n}; K_{U,n})$  определяется по формуле

$$P(K_{U,n} < K_U < K_{U,n}) = \int_{K_{U,n}}^{K_{U,n}} \Psi(K_U) d(K_U), \quad (4)$$

где  $\Psi(K_U)$  – плотность вероятности распределения величины в течение суток, 1/%.

Такая же функция распределения в интервале  $(K_{U,n}; \infty)$  рассчитывается по формуле

$$P(K_{U,n} < K_U < \infty) = \int_{K_{U,n}}^{\infty} \Psi(K_U) d(K_U), \quad (5)$$

Значения  $K_U$  являются дискретными случайными величинами заданными действительными (вещественными) числами. Это позволяет использовать производящую функцию для определения моментов распределения и плотности вероятностей распределения случайной величины  $\delta K_U$ . Для этого доказано [4,5], что, если принять

$$\delta K_U = \exp(t K_U), \quad (6)$$

где  $t$  – параметр (время),

то математическое ожидание величины  $\delta K_U$  является производящей функции случайной величины  $K_U$ .

Вероятность появления кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения определяется по формуле

$$P(\delta K_U) = P(K_{U,n} < K_U < K_{U,n}) + P(K_{U,n} < K_U < \infty) - 0,05. \quad (7)$$

Полученные параметры распределения кондуктивной низкочастотной ЭМП  $\delta K_U (M[\delta K_U], \sigma[\delta K_U])$  и вероятность её появления за расчётный период позволяют представить последовательность решения задачи по определению критерия качества функционирования СЭС общего назначения (рисунок 2) по коэффициенту искажения.

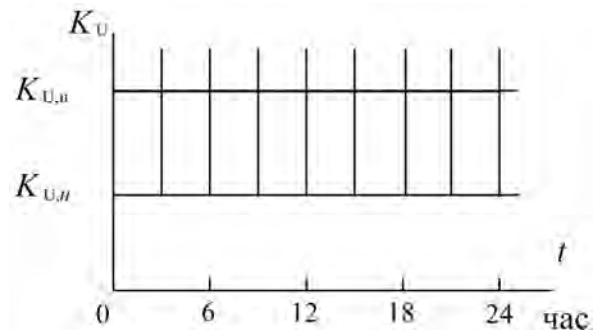


Рисунок 1 – Область появления кондуктивной низкочастотной ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения

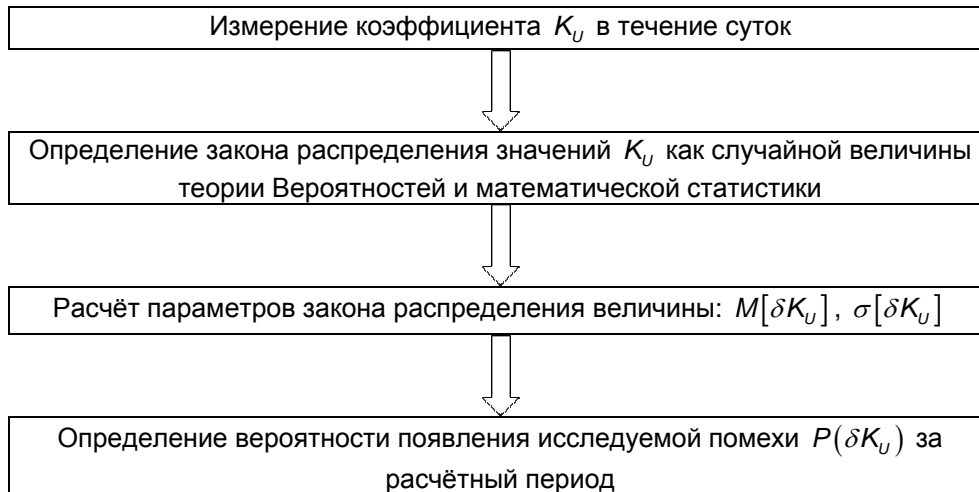


Рисунок 2 – Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения

Эффективность использования предложенного алгоритма для анализа ЭМО рассмотрим на примере расчёта параметров кондуктивной ЭМП  $\delta K_U$  в сети 10 кВ электролиза цинка. ИВК показал, что эмпирическое распределение значений коэффициента  $K_U$  в течение суток соответствует нормальному закону распределения теории вероятностей. Параметры распределения значений коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения 10 кВ составляют:

- математическое ожидание  $M[\delta K_U] = 5,63\%$ ;
- среднее квадратическое отклонение  $\sigma[\delta K_U] = 1,5\%$ ;
- относительное значение времени превышения нормально допустимого значения  $T_1 = 60\%$ ;
- относительное значение времени превышения предельно допустимого значения  $T_2 = 4\%$ .

Нормальная плотность вероятности распределения кондуктивной низкочастотной ЭМП  $\delta K_U$  (1/%) определяется равенством

$$\varphi\{K_U = \delta K_U; 5,63; 1,5\} = 0,27 \exp\left[-\frac{(K_U - 5,63)^2}{4,5}\right]. \quad (11)$$

Требование ГОСТ 13109-97 не выполняется. В связи с этим определяется вероятность появления кондуктивной ЭМП. На рисунке 3 приведён график нормальной плотности вероятности распределения  $\varphi(K_U = \delta K_U; 5,63; 1,5)$  совмещённый с нормируемыми значениями уровней ЭМС для кондуктивной ЭМП по коэффициенту  $K_U$  в электрической сети 10 кВ. Вероятности попадания  $K_U$  в пределы (5; 8) и (8,  $\infty$ ), рассчитанные по формулам (4) и (5) с помощью функции Лапласа, составляет 0,6 и 0,06 соответственно. Вероятность появления  $\delta K_U$  в течение суток, рассчитанная по формуле (7), составляет 0,61.

Таким образом, в электрической цепи 10 кВ наблюдается значительное искажение си-

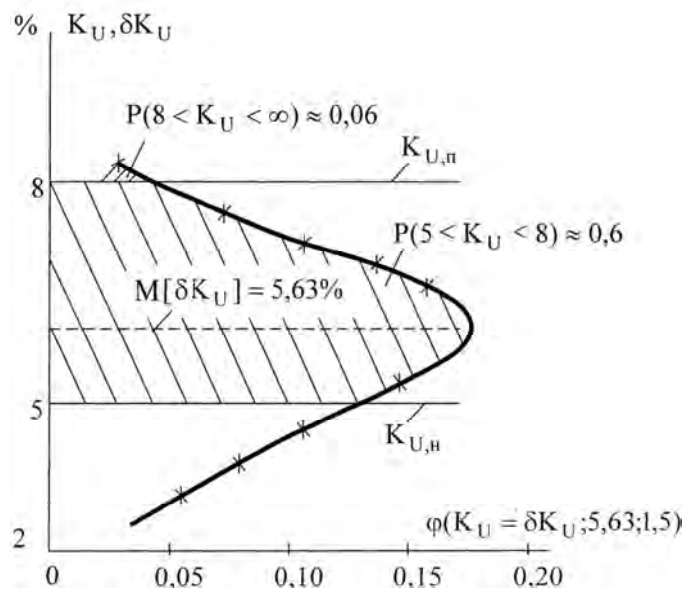


Рисунок 3 – График нормальной плотности вероятности распределения  $\varphi(K_U = \delta K_U; 5,63; 1,5)$  совмещённый с нормируемыми значениями уровней электромагнитной совместимости для кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи  $\delta K_U$  в сети 10 кВ

нусоидальности кривой напряжения превышающими 5% кондуктивная низкочастотная ЭМП  $\delta K_U$  характеризуется с вероятностью 0,95 математическим ожиданием  $M[\delta K_U] = 5,63\%$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma[\delta K_U] = 1,5\%$ . Вероятность  $P(\delta K_U)$  превышает (0,61) допустимую вероятность (0,05) превышения коэффициентом  $K_U$  нормально допустимого значения в 12,2 раза. Следовательно, необходимо принять меры для ограничения (подавления) величины  $\delta K_U$ . Для этого можно использовать рекомендации, изложенные в [1, 5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 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: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. -559 с.
- 2 ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 2013-01-01. -М.: Стандартинформ, 2012. -15 с.
- 3 ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 01.01.99. -Минск: Стандарты, 1998. -31 с.
- 4 Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. -М.: Наука, 1965. -511 с.
- 5 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях транспортных систем (теория, расчёт, подавление) / Е.В. Иванова // Трансп. дело России. -2006. -№8. -С. 16-20.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электромагнитная помеха, качество напряжения, система электронабжения, производящая функция, вероятность появления

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМАХ ВЫБОРА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»  
ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»**

**Е.Ю. Попова, К.С. Мочалин, Г.В. Ситников**

### **MATHEMATICAL MODELING OF THE POWER SYSTEM IN ADAPTIVE ALGORITHMS CHOICE OF CONTROL ACTION**

Institute of power system automation  
Novosibirsk state academy of water transport  
E.Yu. Popova, K.S. Mochalin, G.V. Sitnikov

This article describes the problem of mathematical modeling of power system for automatic stability control system, functioning of the real time calculation on an adaptive algorithm choice of control actions I-DO.

*Keywords: mathematical model, power system, emergency control*

Рассмотрена задача математического моделирования электроэнергетической системы для автоматизации предотвращения нарушения устойчивости, функционирующей в темпе текущего режима по адаптивному алгоритму выбора управляющих воздействий I-DO.

Автоматика предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) единой энергосистемы России имеет иерархическую структуру [1], в которой количество уровней управления определено конкретными условиями функционирования электроэнергетической системы (ЭЭС), её электрической схемой, сбалансированностью, способностью выдерживать воздействия аварийных возмущений без нарушения устойчивости, управляемостью, принятыми способами и методами управления. Согласно стандарту ОАО «СО ЭЭС» от 2011 г. выделяют три уровня АПНУ: локальную АПНУ (ЛАПНУ), централизованную систему противоаварийной автоматизации (ЦСПА) и координирующую систему противоаварийной автоматизации (КСПА).

В настоящее время двухуровневая система АПНУ реализована в объединённой энергосистеме (ОЭС) Востока, Сибири, Средней Волги, Урала и Юга. Создание верхнего уровня, КСПА, планируется «СО ЭЭС» в 2013-2016 гг.

На верхних уровнях иерархии, а также в ЛАПНУ при выборе управляющих воздействий по алгоритму I-ДО, в контур управления входит математическая модель района управления. На основе математической модели ЭЭС в комплексах АПНУ осуществляется оценка текущего режима ЭЭС, расчёт параметров послеаварийных режимов, оценка статической устойчивости и расчёт дозировки управляющих воздействий. Математическая модель ЭЭС состоит

из расчётной модели, эквивалентов примыкающих энергосистем и эквивалента шунтирующей сети низкого напряжения (рисунок). Текущий режим ЭЭС отображается на математической модели по данным телеметрической информации, получаемой от оперативно-информационного комплекса диспетчерского центра контролируемого района управления.

Степень детализации математической модели зависит от многих факторов, в том числе и от выполняемых на рассматриваемом уровне задач [2]. Использование в АПНУ адаптивного алгоритма выбора управляющих воздействий делает задачу формирования математической модели более сложной. Например, размерность используемой математической модели определяется как величиной защищаемой зоны АПНУ, так и её наблюдаемостью, а на адекватность математической модели влияют такие факторы, как наличие в расчётной модели шин бесконечной мощности, способ задания генераторных узлов, накладываемые расчётные ограничения, статические характеристики узлов математической модели по частоте и напряжению и входящих в нее эквивалентов примыкающих ЭЭС [3, 4].

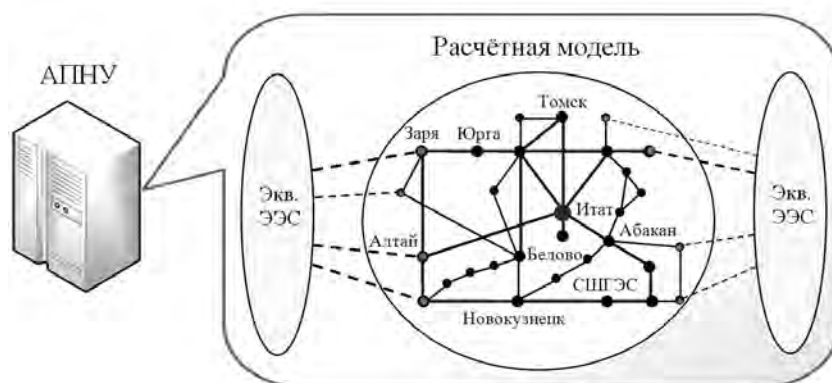


Рисунок – Математическая модель района управления автоматики предотвращения нарушения устойчивости

Задача формирования математической модели защищаемой зоны сети в АПНУ состоит из следующих этапов:

1 Задание базовой информации о структуре и параметрах учитываемой сети, пусковых органах, местах приложения и степенях управляющих воздействий. Параметры сети задаются в виде параметров схем замещения её отдельных элементов (линий электропередачи, трансформаторов и реакторов), коэффициентов статических характеристик нагрузки по частоте и напряжению и моментно-скоростных характеристик турбин генераторов.

2 Определение внутренних узлов и узлов примыкания для расчётных схем контролируемых АПНУ нижнего уровня, функционирующих по алгоритму I-ДО.

3 Идентификация текущего режима математической модели по данным телеметрической информации. К числу измеряемых режимных параметров ЭЭС, необходимых для идентификации текущего установившегося режима на математической модели, относятся напряжения на шинах станций и подстанций, перетоки мощности по линиям электропередачи и трансформаторам, мощности генераторов электростанций.

4 Определение параметров эквивалентов для расчётных схем контролируемых АПНУ нижнего уровня, функционирующих по алгоритму I-ДО.

Этап 1 выполняется для настройки типового математического обеспечения на конкретный район противоаварийного управления при подготовке АПНУ к функционированию. Если в задачи рассматриваемого уровня АПНУ входит определение параметров эквивалентов для нижнего уровня управления, то предварительно, вне цикла управления, выполняется этап 2. Этапы 3 и 4 выполняются в процессе функционирования системы АПНУ. На этапе 3 производится идентификация текущего режима контролируемого района противоаварийного управления на математической модели ЭЭС в АПНУ, на этапе 4 – определяются параметры эквивалентов для модели ЭЭС АПНУ нижнего уровня.

Состав контролируемых элементов сети и измеряемых режимных параметров, необходимых для построения адекватной математической модели ЭЭС, определяется экспериментально на основе вариантных расчётов режимов и устойчивости системы в условиях её математических моделей.

При формировании математической модели ЭЭС в современной АПНУ учитываются следующие особенности:

1 Размерность расчётной схемы для отображения текущего режима энергосистемы принимается в том же объёме (составе), который необходим для решения задачи оценивания состояния ЭЭС.

2 В модели учитываются существующие и проектируемые системообразующие линии

электропередачи 500 кВ и шунтирующие их связи более низкого напряжения.

Учёт в расчётной схеме сети 220 кВ и ниже обусловлен двумя причинами:

– необходимостью моделирования характеристик генераторов и потребителей, работающих непосредственно на эту сеть;

– необходимостью сохранения связанности схемы сети при разрывах сети более высокого класса напряжения.

3 Используются подробные модели основных элементов и средств регулирования и автоматики энергосистем.

4 Учитываются статические характеристики нагрузки по частоте и напряжению и моментно-скоростные характеристики турбин генераторов.

5 Все генераторы представляются моделями PU-типа.

6 Эквиваленты, входящие в математическую модель ЭЭС, должны удовлетворять всем предъявляемым к ним требованиям адекватности и не изменять потокораспределение в текущем режиме.

Описанный подход к формированию математической модели ЭЭС применён в ЦСПА ОЭС Сибири. Одной из задач ЦСПА является определение на основе собственной математической модели ЭЭС параметров эквивалентов для математической модели ЛАПНУ с центром на ПС 1150 кВ Итатская, где реализован алгоритм выбора управляющих воздействий I-ДО. Расчёт параметров эквивалентов для модели ЭЭС ЛАПНУ производится в темпе текущего режима по специально разработанным алгоритмам [5].

Формирование модели ЭЭС для ЦСПА повлияло на систему сбора и передачи телеметрической информации в ОЭС Сибири, которая была значительно расширена и модернизирована с целью повышения надёжности. Полученная модель энергообъединения Сибири для ЦСПА совместно с широкими функциональными возможностями современной АПНУ повысила эффективность противоаварийного управления ОЭС Сибири.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кощев, Л.А. Автоматическое противоаварийное управление в электроэнергетических системах / Л.А. Кощев. -Л.: Энергоатомиздат, 1990. -140 с.

2 Принципы формирования модели энергосистемы для современной Централизованной системы противоаварийной автоматики / В.А. Дьячков, А.В. Жуков, А.Н. Филинков, А.В. Юдин // Труды Международной научно-практической конференции «Релейная защита и автоматика современных энергосистем сверхвысокого напряжения». -Чебоксары, 2007. -С. 1-7.

3 Попова, Е.Ю. Формирование математической модели ЭЭС при решении задач управления послеаварийными режимами энергообъединений / Е.Ю. Попова, О.В. Захаркин // Электро- энергетика глазами молодёжи: науч. тр. Всерос. науч.-техн. конф. / УрФУ. -Екатеринбург, 2010. -Т.2. -С. 107-112.

4 Popova, E. The method of mathematical models formation for centralized emergency control in UPS of Siberia / E. Popova, N.N. Lizalek // Proceedings of 5th International Conference «Liberalization and Modernization of Power Systems: Smart Technologies for Joint Operation of Power Grid (LMPS'12, IEEE)» / Energy Systems Inst. -Irkutsk, 2012. -P. 205-211.

5 Попова, Е.Ю. Моделирование электроэнергетической системы в иерархической противоаварийной автоматике: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Попова Е.Ю. -Новосибирск, 2013. -23 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *математическая модель, электроэнергетическая система, противоаварийная автоматика*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Попова Елена Юрьевна, научный сотрудник ЗАО «ИАЭС»  
Мочалин Константин Сергеевич, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГавт»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *Ситников Григорий Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГавт»  
630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»  
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавт»*

## **ПОТЕРИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ И НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ НАПРЯЖЕНИЯ**

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

**Ю.М. Денчик, В.Г. Сальников, Г.В. Ситников, А.В. Гноевой**

**ACTIVE POWER LOSS IN ELECTRICAL NETWORKS WITH ASYMMETRIC AND NONSINUSOIDAL VOLTAGE MODES**

**Novosibirsk state academy of water transport**

**Ju.M. Denchik, V.G. Sal'nikov, G.V. Sitnikov, A.E. Gnoevoy**

Representation of the equation of active power losses resulting from asymmetry voltage harmonic impact, taking into account the assumptions of standard materials.

*Keywords: power consumption for its technology transfer, full power, active and reactive power, power factor, inactive, nonsinusoidal voltage asymmetry*

Представлено уравнение потерь активной мощности, обусловленных несимметрией напряжений при гармоническом воздействии, с учётом допущений нормируемых материалов.

Снижение расхода энергии на её передачу по электрическим сетям и обеспечение нормируемых уровней электромагнитной совместимости для кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех в системах электроснабжения общего назначения имеют большое значение для экономики страны. Причём, это значение постоянно возрастает, так как, в конечном счёте, приводит к экономии топлива и повышению надёжности и экономичности работы теплоэнергетических систем [1].

Сложность расчёта технологического расхода электроэнергии на передачу обусловливается отсутствием достаточной информации о режиме сети, параметры которого изменяются во времени. Исследования в этой области знаний проводятся в направлении анализа взаимосвязи интегральных характеристик режима сети с информацией о мгновенных их значениях, составления экспресс-методов и программ расчёта потерь электроэнергии для их учёта при ведении режима сети и т.д. [3, 4, 6].

Трудность обеспечения ЭМС технических средств заключается в негативном проявлении кондуктивных низкочастотных ЭМП, которые имеют стохастический характер и ухудшают электромагнитную обстановку в системах электроснабжения общего назначения. [4, 6, 8]. Неопределённость, с которой сталкиваются при решении указанной задачи, заключается, прежде всего, в определении понятий реактивной и полной (кажущейся) мощности при несимметричных и несинусоидальных режимах электрических сетей. Сущность этой проблемы заключается в том, что при наличии гармонических составляющих в напряжении и токе создаются несколько компонентов мгновенной мощности, которые не участвуют в чистой передаче энергии. Распространить же свойства реактивной мощности в сетях при синусоидальных напряжениях и токах на сети с искажениями невозможно по природным причинам [1, 3, 4, 6, 8].

В научном мире до сих пор ведутся оживлённые дискуссии и пока нет единой общепринятой теории мощности, которая могла бы использоваться в качестве основы для взимания платы за использованную электроэнергию, оценки качества электроэнергии, определения источников гармонических искажений в системах электроснабжения и их компенсации.

Вследствие этого действующие правила и стандарты [2, 5, 7, 10, 11] описывают только синусоидальные системы и не дают основополагающего определения реактивной энергии (или мощности) при несинусоидальных напряжениях и токах. В соответствии с их требованиями для счётчиков активной энергии проводится проверка точности при наличии гармоник. Счётчики для измерения реактивной энергии изготавливаются для работы только с синусоидальными напряжениями и токами. Указанные стандарты действительны для общепринятого определения реактивной энергии синусоидальных напряжений и токов, содержащих только основную частоту [1].

В связи с этим основной целью изложения последующего материала является рассмотрение методологического подхода к анализу технологического расхода электроэнергии на её передачу и определению (выбору) составляющих полной мощности в трёхфазных симметричных и несимметричных сетях при гармоническом воздействии, которые наиболее полно формируют электромагнитную обстановку, обуславливающую ЭМС технических средств.

В несимметричных трёхфазных электрических сетях при несинусоидальных токах и напряжениях соблюдается условие баланса полной мощности [1]

$$S = S_A + S_B + S_C, \quad (1)$$

где  $S_A, S_B, S_C$  – соответственно полная мощность фазы А, В, С, В-А.

Несмотря на это, практический смысл имеет только операция суммирования по фазам активной мощности

$$P = P_A + P_B + P_C. \quad (2)$$

Уравнение (2) имеет тот же смысл, что и при симметричной системе. Применительно к вращающимся машинам это активная мощность, потребляемая машиной и теряемая в сети. Аналогичная операция для реактивной мощности не имеет существенного смысла. Объясняется это тем, что резерв мощности в одной последовательности не может компенсировать потребление реактивной мощности в системе другой последовательности.

Согласно с [1, 4, 6, 12] в электрических сетях при несимметричных и несинусоидальных

режимах работы составляющими полной мощности  $S$  (В·А) являются: активная мощность  $P$  (Вт), обеспечивающая совершение полезной работы; реактивная мощность  $Q$  (В·Ар), которая не принимает участие в совершении полезной работы, но обеспечивает на основной частоте возможность её совершения и загружает сеть дополнительным током, пульсирующим между источником и потребителем; мощность искажения  $T$  (В·Ар), обусловленная несинусоидальностью кривых токов и напряжений, не участвует в обменном процессе энергии между источником и приёмником электроэнергии в течение периода, но снижает эффективность использования активной составляющей полной мощности; мощность несимметрии  $H$  (В·Ар), обусловленная неравномерным распределением токов по фазам, влияет на сеть также как мощность искажения.

В общем случае полная мощность связана со своими составляющими известным выражением [1]

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2 + H^2} . \quad (3)$$

Неактивная мощность определяется по формуле

$$N_H = \sqrt{Q^2 + T^2 + H^2} . \quad (4)$$

Для наглядной оценки потери активной мощности, обусловленной мощностью  $H$ , на рисунке показана графически связь между составляющими полной мощности при несинусоидальном напряжении в фазе несимметричной сети (треугольник  $Ode$ ). Этот треугольник построен при принятых  $\delta_1 = \text{Const}$ . Видно, что несимметрия напряжения вызывает дополнительные потери активной мощности

$$\delta P = \Delta P_H - \Delta P , \quad (5)$$

где  $\Delta P_H$  – суммарные потери активной мощности, обусловленные несинусоидальностью напряжения в несимметричной сети, Вт.

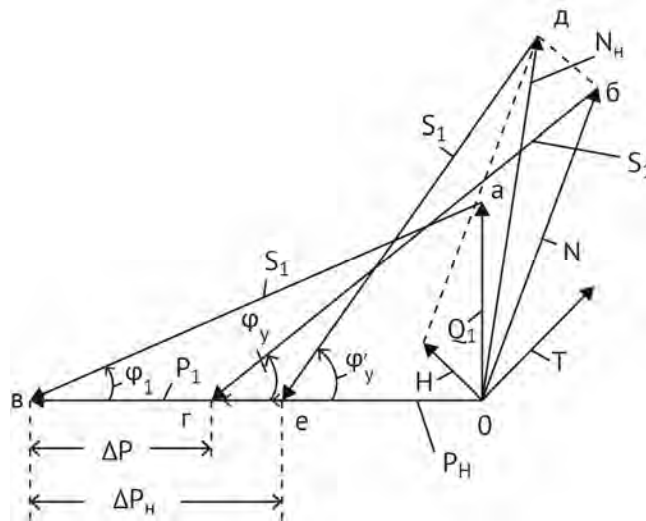


Рисунок – Графическая связь между составляющими полной мощности: при синусоидальном напряжении в фазе симметричной сети (треугольник  $Oab$ ), при несинусоидальном напряжении в фазе симметричной сети (треугольник  $Obg$ ), при несинусоидальном напряжении в фазе несимметричной сети (треугольник  $Ode$ )

Для рассматриваемого случая эффективность передачи активной мощности потребителю характеризуется коэффициентом мощности

$$K_{M,H} = \frac{P_1 - \Delta P_H}{\sqrt{P_H^2 + N_H^2}} = \cos \varphi'_y , \quad (6)$$

где  $P_1, P_H$  – соответственно активная составляющая полной мощности при синусоидальном и симметричном напряжении и при несинусоидальном и несимметричном напряжении, Вт.

При этом степень несимметрии системы определяется коэффициентом несимметрии

$$K_{НС} = \frac{\sqrt{P_H^2 + Q_1^2 + T^2}}{S_1} . \quad (7)$$

Изложенное позволяет осуществить оценку добавочных потерь активной мощности в электрической сети, обусловленных несимметрией и несинусоидальностью напряжений. При этом исходными математическими моделями для четырёхфазных сетей можно использовать формулы для определения активных и реактивных мощностей прямой ( $P_1, Q_1$ ), обратной ( $P_2, Q_2$ ), нулевой ( $P_0, Q_0$ ) последовательностей и высших гармоник ( $P_{n\Sigma}, Q_{n\Sigma}$ ) [1, 4]

$$\begin{cases} P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1, Q_1 = 3U_1 I_1 \sin \varphi_1; \\ P_2 = 3U_2 I_2 \cos \varphi_2, Q_2 = 3U_2 I_2 \sin \varphi_2; \\ P_0 = 2U_0 I_0 \cos \varphi_0, Q_0 = 3U_0 I_0 \sin \varphi_0; \\ P_{n\Sigma} = \sum_{A,B,C} \sum_{n=2} U_n I_n \cos \varphi_n, Q_{n\Sigma} = \sum_{A,B,C} \sum_{n=2} n U_n I_n \sin \varphi_n, \end{cases} \quad (8)$$

где  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_0$  – соответственно угол сдвига между напряжением и током прямой ( $U_1, I_1$ ), обратной ( $U_2, I_2$ ) и нулевой ( $U_0, I_0$ ) последовательности, град;

$\varphi_n$  – угол сдвига между напряжением и током  $n$ -ой гармоники, град;

$U_n, I_n$  – напряжение и ток  $n$ -ой гармоники.

Для трёхпроводных цепей (линейные токи и напряжения) математические зависимости имеют вид

$$\begin{cases} P_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos \varphi_1, Q_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \sin \varphi_1; \\ P_2 = \sqrt{3}U_2 I_2 \cos \varphi_2, Q_2 = \sqrt{3}U_2 I_2 \sin \varphi_2; \\ P_{n\Sigma} = \sqrt{3}U_n I_n \cos \varphi_n, Q_{n\Sigma} = \sqrt{3}U_n I_n \sin \varphi_n. \end{cases} \quad (9)$$

Указанные уравнения справедливы при симметричных токах и напряжениях высших гармоник. Необходимые расчёты и анализ проводятся на соответствующей частоте гармоники и последовательности симметричной составляющей.

Активная составляющая мощности характеризует необратимые преобразования электрической энергии в другие виды энергии и при несинусоидальных и несимметричных токах и напряжениях в трёхфазной сети определяется по формуле

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_{n\Sigma} + P_2 + P_0. \quad (10)$$

Полагая, что энергия высших гармоник и обратной (нулевой) последовательности практически не совершает полезной работы, для исследуемой электрической системы при несинусоидальных и несимметричных токах и напряжениях дополнительные потери активной мощности составляют [1, 4]

$$\Delta P_{\text{доп}} = P_{n\Sigma} + P_2 + P_0. \quad (11)$$

В действительности дополнительные потери активной мощности превышают величину  $\Delta P_{\text{доп}}$  за счёт потерь обусловленных обменными процессами на частотах высших гармоник, схожими по своей природе с потерями от протекания реактивной мощности в синусоидальных симметричных режимах. Стандарт IEEE 1459-2000 относит эту часть потерь к небалансу активной мощности [4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В. Сальников; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. -559 с.
- 2 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: введ. в действие с 30.06.03. -М.: СПО ОРГРЭС, 2003.
- 3 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. -432 с.
- 4 Чижма, С.Н. Составляющие мощности при несинусоидальных и несимметричных режимах работы систем электропитания железных дорог / С.Н. Чижма // Изв. Трансиба. -2010. -№4(4). -С. 94-103.
- 5 ТИ 34-70-002-82. Типовая инструкция по оптимальному управлению потоками реактивной мощности и уровнями напряжений в электрических сетях энергосистем. -М.: Энергоатомиздат, 1982. -86 с.
- 6 Баков, Ю.В. Мощность переменного тока / Ю.В. Баков; Иванов. гос. энергет. ун-т. -Иваново, 1999. -200 с.
- 7 IEEE Trial Use Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Non-Sinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions: IEEE Std 1459-2000. -IEEE, 2002. -52 p.
- 8 Сальников, В.Г. Экономия электроэнергии в промышленности / В.Г. Сальников. -Алматы: Казахстан, 1984. -124 с.
- 9 Энергетический баланс. Терминология. Вып.86. -М.: Наука, 1973. -32 с.
- 10 ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 01.01.99. -Минск: Стандарты, 1998. -31 с.
- 11 ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 2013-01-01. -М.: Стандартинформ, 2012. -15 с.



**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** технологический расход электроэнергии на её передачу, полная мощность, активная и реактивная мощности, неактивная мощность, коэффициент несимметрии, несинусоидальность напряжения

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Ситников Григорий Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
Гноевой Андрей Валерьевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

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

## **УСЛОВИЕ НОРМИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЕЁ ТРАНСПОРТ**

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

**Д.А. Барков, Ю.М. Денчик, Е.В. Иванова, Г.В. Ситников**

**CONDITION NORMALIZED TECHNOLOGICAL CONSUMPTION OF ELECTRICITY FOR ITS TRANSPORTATION**  
Novosibirsk state academy of water transport  
D.A. Barkov, Ju.M. Denchik, E.V. Ivanova, G.V. Sitnikov

Analyzes the modes of electrical systems, for which is achieved normalized technological power consumption for its transport.

*Keywords: technological power consumption, electric networks*

Анализируются режимы работы электрических систем, при которых достигается нормированный технологический расход электроэнергии на её транспорт.

Снижение технологического расхода электроэнергии на её транспорт входит составной частью в проблему электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств в электрических сетях. При решении задач по ограничению влияния кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех (ЭМП), обусловленных некачественной электроэнергией в электрической сети, на ЭМС необходимо знать условия решения этих задач. Иными словами, нужно определиться с допустимыми пределами изменения показателей качества электроэнергии (КЭ), при которых технологический расход электроэнергии на её транспорт является нормальным – научно обоснованным.

Известно [1, 2], что часть выработанной электроэнергии расходуется в электрических сетях на создание электрических и магнитных полей и является необходимым технологическим расходом на её передачу. В связи с тем, что полезно отпущенная потребителям энергия  $W_{п,0}$  меньше, чем энергия, отпущенная в сеть  $W_{о,с}$  технологический расход энергии на передачу обычно называют потерями  $\Delta W_T$  (техническими потерями). К нереализованной энергии также относятся производственные нужды  $\Delta W_{п,н}$  -часть энергии, израсходованная в сетях на производственные нужды энергосистем (ремонтные базы, электрокотельные и т.п.), не связанная непосредственно с передачей энергии.

Баланс энергии, кВт·ч, в сети можно представить в виде уравнения [3]

$$W_{о,с} = W_{п,0} + \Delta W_T + \Delta W_{п,н} \pm \Delta W_{комм}, \quad (1)$$

где  $\Delta W_{комм}$  –коммерческие потери.

Коммерческие потери появляются в балансе энергии как составляющая часть потерь в связи с тем, что отпущенная в сеть энергия определяется по счётчикам электроэнергии, фиксирующим отпуск энергии в сеть собственными станциями электроэнергетических систем (ЭЭС), электростанциями других ведомств, а полезно отпущенная энергия вычисляется по сумме оплаченных счетов от потребителей за этот же период времени. В связи с неодновременностью записей показаний счётчиков, неодновременностью оплаты счетов, погрешностью приборов учёта возможен небаланс  $\pm \Delta W_{комм}$ . Необходимо добавить, что отнести его к потерям можно лишь условно, это потери учёта и физически как технологический расход не существуют.

Относительные технические потери в различных энергосистемах в зависимости от схемы и назначения электрических сетей (транспортные системообразующие, распределительные), уровня их загрузки, доли потребителей, получающих энергию на повышенном напряжении, составляют от 4 до 16% энергии, поступившей в сеть. Так же в большом диапазоне изменяются и отдельные составляющие потерь. Структура потерь энергии в электрических

сетях различных энергосистем в разные годы, полученная разными исследователями представлена в таблице. Видно, что основная доля потерь (до 70%) приходится на распределительные сети от 6 до 110 кВ [3].

Для эффективности анализа потери энергии в электрических сетях подразделяются на: технологически необходимый расход энергии при передаче её в условиях оптимального режима работы энергосистемы; дополнительные технологические потери при отклонении режима от оптимального. Подобная классификация показывает, что часть потерь энергии не является необходимой и их снижение оказывается экономически целесообразным.

Количественный анализ потерь энергии выполняется при представлении их в зависимости от основных влияющих факторов. К ним относятся: загрузка линии электропередачи, обменный поток мощности, степень компенсации потоков реактивной мощности, степень приближения режима к оптимальному, уровень автоматизации ведения режима сети, уровень потерь холостого хода электрооборудования и коммерческие потери.

Очевидно, что более всего проявляется зависимость

потерь энергии от загрузки сети. Обменные потоки мощности между региональными ЭЭС оказывают существенное влияние на потери энергии в системообразующих и в распределительных сетях систем при изменении уровней напряжения в узловых точках. Возрастание потерь за счёт обменных потоков в основной части относится к необходимому технологическому расходу энергии и может быть обосновано технико-экономически при уменьшении суммарных затрат на производство, передачу и распределение энергии.

Существенное влияние на уровень потерь энергии в электрических сетях всех назначений оказывает степень компенсации потоков реактивной мощности и связанные с ней уровни напряжения в центрах питания потребителей. Передача реактивной мощности из сети одного напряжения в другую обычно экономически невыгодна в связи с неэкономичной загрузкой, увеличенными потерями активной и реактивной мощностей и необходимостью применения трансформаторов большей мощности. Поэтому одним из способов повышения эффективности передачи энергии является выработка реактивной мощности в сетях различного напряжения ЭЭС и в электрических сетях потребителей [2].

Оптимальный уровень мощности конденсаторных установок (КУ) зависит от числа ступеней трансформации, протяженности сетей, стоимости КУ, себестоимости реактивной мощности, загрузки сетей активной мощностью и определён в различных странах на уровне (0,4-1) кВ·Ар/кВт. Этот показатель компенсации в России в два раза ниже.

Повышение степени компенсации до 0,4 кВ·Ар/кВт является одним из наиболее эффективных мероприятий, которое может снизить потери при одновременном повышении качества электроэнергии по основному показателю - отклонению напряжения. Наибольший эффект может быть достигнут при применении регулируемых источников реактивной мощности, при одновременном их управлении по законам, выбранным по интегральным характеристикам режима сети [3].

Системный анализ показывает, что потери энергии тем больше, чем больше степень отклонения режима от оптимального. Поддержание оптимального режима в течение заданного периода времени можно осуществить при достаточной автоматизации оборудования, наличии системы плано-предупредительных ремонтов, позволяющих снизить время неэкономичного режима, а также при хорошо поставленной работе по расчёту и ведению оптимального режима энергосистемы и автоматизированной корректировки режима.

Если до последних лет основной задачей считалось обеспечение отдельных подстанций регуляторами режима, поддерживающими параметры сети в допустимых пределах, то в

*Таблица – Структура потерь энергии в электрических сетях энергосистем*

Составляющие потерь	Диапазон изменчивости относительных потерь, %
Сеть 330-500 кВ	5-25
Сеть 220 кВ	4-27
Сеть 35-110 кВ	15-43
Сеть 6-20 кВ	5-34
Собственные нужды подстанций	0,3-5,0
Потери в генераторах, работающих в режиме синхронных компенсаторов	0,2-5,0
Потери на корону в воздушных линиях	1-4
Потери в измерительных приборах, трансформаторах тока и напряжения	0,5-1,5
Прочие потери (сети 0,38 кВ, плавка голлёда, преобразовательные подстанции и т. п.)	0,5-30

настоящее время появилась настоятельная необходимость совместной настройки локальных регуляторов по интегральным показателям режима сети. По принятой классификации [3] основную роль в приближении режима к оптимальному играют также малозатратные мероприятия. По оценкам специалистов уровень потерь при этом может быть снижен на (15-20)%.

Около 25% всех потерь энергии составляют условно постоянные потери (потери холостого хода электрооборудования, в первую очередь трансформаторов). Следовательно, освоение промышленностью оборудования с меньшим расходом электроэнергии на холостой ход приведёт к уменьшению потерь энергии.

Оценка эффективности передачи электроэнергии должна проводиться по интегральным характеристикам режима, таким как кондуктивные низкочастотные ЭМП, количество пропущенной некондиционной энергии и т. п. Для этих целей необходимо представить проблему во взаимосвязи, то есть изучить, на сколько увеличиваются потери при снижении качества реализуемой энергии. Проанализировав зависимость потерь энергии в сетях в диапазоне от 49,5 до 50,2 Гц, можно убедиться, что она определяется изменением сопротивления элементов при изменении частоты и изменением нагрузки согласно их статическим характеристикам [1].

Потери мощности и энергии увеличиваются при уменьшении напряжения, но так как при этом снижается общая нагрузка, то зависимость потерь энергии в энергосистеме от напряжения выражается прямой линией. На 1% уменьшения напряжения потери увеличиваются на 1%. В связи с тем, что режим работы с пониженной частотой сопровождается, как правило, и снижением напряжения, дополнительные потери при действии этих факторов можно суммировать. Ещё более существенный рост дополнительных потерь наблюдается при несимметрии фазных напряжений, особенно при выходе несимметрии за допустимые пределы [2].

Дополнительные потери в распределительной сети при несинусоидальности менее 5% незначительны (доли процента от общих потерь). Но при возрастании коэффициента несинусоидальности до (7-15)% (диапазон, встречающийся в сетях городского типа) дополнительные потери при полной загрузке источников высших гармонических достигают 10-12%.

Таким образом, системный анализ составляющих потерь электроэнергии позволяет сформулировать следующую аксиому: только при изменении показателей КЭ в нормируемых ГОСТ Р 54/49-2010 и ГОСТ 13109-97 пределах влиянием их на увеличение технологических норм расхода электроэнергии на её транспорт можно пренебречь. Эта аксиома является условием нормированного технологического расхода электроэнергии на её транспорт.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Иванова, Ю.М. Параметры электромагнитной обстановки в сети с искажающей нагрузкой / М.Г. Вишнягов, Ю.М. Иванова, В.Г. Сальников // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№2. -С. 242-247.
- 2 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях транспортных систем (теория, расчёт, подавление) / Е.В. Иванова // Трансп. дело России. -2006. -№8. -С. 16-20.
- 3 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, 2013. -559 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *технологическая норма, электрические сети*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Барков Денис Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
*Ситников Григорий Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

## **ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ОТКЛЮЧЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 220 кВ В ЮЖНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ**

Магистральные электрические сети Сибири, филиал ОАО «Федеральная сетевая компания единой энергетической системы» Новосибирская специализированная производственная база, филиал ОАО «Специализированная электросетевая сервисная компания Единой национальной электрической сети» ОАО «Тюменьэнерго»

**М.В. Смоленцев, Е.В. Львов, В.Г. Боровицкий, Р.С. Арбузов, А.Г. Овсянников**

**POSSIBLE CAUSES OF 220 kV OVERHEAD LINE OUTAGES IN SOUTHERN TRANSBAIKALIA**

Trunk power grids of Siberia, branch Federal grid company of Unified energy system  
Novosibirsk specialized production base, branch Specialized electric grid service company  
of Unified national power grid  
Tyumenenergo

M.V. Smolentsev, E.V. L'vov, V.G. Borivitsky, R.S. Arbuzov, A.G. Ovsyannikov

It is shown that autumn-winter outages of 220 kV transmission lines of occur mainly due to flashover of suspension insulation. From the possible reasons of flashovers bird-induced flashover seems as the most probable.

*Keywords: overhead transmission lines, disable, traces of overlap, obscure reasons overlap*

Показано, что осенне-зимние отключения линий электропередачи 220 кВ происходят в основном из-за перекрытия изоляции. Вмешательство птиц, как возможная причина при этом, кажется наиболее вероятным.

Проблема отключений воздушных линий электропередачи (ВЛ) «по неустановленным причинам» известна. Зачастую, такие отключения связаны с перекрытием гирлянд изоляторов, а причина перекрытия остаётся невыясненной.

Обычно рассматривают три версии возникновения перекрытий изоляции: вмешательство птиц; загрязнение и увлажнение туманом, росой или морозящим дождём [1], а также комбинация первого и второго факторов [2]. Кроме того, в [3] предложено рассматривать при расследованиях отключений ВЛ локальные высокочастотные перенапряжения, связанные с коммутационными процессами на отпаечных линиях.

В данной работе исследованиям подверглась группа необычных отключений, связанных с перекрытием изоляции ВЛ 220 кВ в регионе Южного Забайкалья. Перекрытия изоляции ВЛ имели место:

- на равнинных участках в степных и холмистых зонах;
- только на промежуточных опорах;
- преимущественно на ВЛ с железо-бетонными опорами и на фазах, смонтированных на длинных траверсах;
- по времени суток – преимущественно с 3-00 до 8-00 часов (70%);
- по времени года – преимущественно в ноябре (31%) и в декабре (22,5%);
- преимущественно в безветренную погоду.

Характер следов перекрытия во всех случаях был одинаковым: нижняя опорная точка дуги обнаруживалась на проводе или на лодочке; верхняя – на шапке первого изолятора. Следы оплавления на других изоляторах отсутствовали. Почти все отключения сопровождалось успешным АПВ.

Собственно, необычными мы сочли отключения ВЛ, случившиеся в ноябре и декабре. В других регионах России эти месяцы достаточно благополучные в части отключений ВЛ. Рассмотрим подробнее возможные причины перекрытий. Метеорологические условия при некоторых отключениях ВЛ в эти месяцы приведены в таблице.

*Таблица – Метеорологические условия при некоторых отключениях ВЛ*

№	Дата	Время	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Атмосферное давление, мм. рт. ст	Точка росы, °С	Скорость ветра, м/с
1	18.11.2010	21-05	-6,8	96	701	-7,3	0
2	15.12.2010	08-43	-23,5	75	708	-26,7	6
3	01.11.2011	00-56	-0,7	97	706	-1,1	2
4	15.11.2011	23-49	-20,5	80	714	-23,1	0
5	23.11.2012	02-48	-17,3	90	707	-18,5	2
6	27.11.2012	04-10	-21,0	95	697	-21,6	0
7	27.11.2012	07-13	-22,8	90	696	-24,0	0

Видно, что только условия, перечисленные в строке 3, могли быть привлечены для объяснения перекрытия изоляции по увлажнённой, но достаточно чистой поверхности. Именно такие случаи упоминаются и в [1]. Однако в других случаях увлажнения поверхности изоляторов быть попросту не могло из-за отрицательной температуры воздуха. Дело в том, что напряжение перекрытия загрязнённой и увлажнённой изоляции определяется удельной поверхностной проводимостью слоя загрязнения [4], которая, при устоявшихся параметрах слоя загрязнения, определяется проводимостью электролита, образовавшегося при растворении проводящей твёрдой фазы поглощённой водой

$$\gamma(T_2) = \gamma(T_1) [1 + \alpha(T_2 - T_1)] \frac{\rho_{эл}^{-2} (m_е + k_p m_э)^2}{\rho_{эл}^{-1} (m_е + k_p m_э) + \rho_n^{-1} m_n + \rho_{эн}^{-1} m_э (1 - k_p)}; \quad k_p = \frac{m_{эп}}{m_э},$$

где  $\gamma(T_1)$  – удельная проводимость жидкой фазы при температуре  $T_1$ , мкСм;

$\alpha$  – температурный коэффициент электропроводности, зависящий от вида электролита,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$\rho_{эл}$  – плотность раствора электролита, мг/см<sup>3</sup>;

$m_э$  – масса всех частиц электролита на единицу поверхности, мг/см<sup>2</sup>;

$m_е$  – масса воды на единицу поверхности, мг/см<sup>2</sup>;

$m_n$  – масса нерастворимых диэлектрических частиц, мг/см<sup>2</sup>;

$m_{эп}$  – масса растворившихся частиц электролита на единицу поверхности, мг/см<sup>2</sup>;

$\rho_n, \rho_{эн}$  – плотность соответственно нерастворимых диэлектрических частиц и не растворившихся частиц электролита, мг/см<sup>3</sup>.

При отрицательных температурах о процессы растворения проводящих частиц электролита резко замедляются или становятся невозможными, так как вода становится льдом. Упомянутая в строке 3 таблицы 1 температура 0,7  $^{\circ}\text{C}$  была близка к граничному состоянию, когда уже образовавшийся электролит может разогреваться токами утечки. При этом проводимость могла возрасти, а напряжение перекрытия стать ниже наибольшего рабочего напряжения линии. Во всех других случаях температура была настолько низкой, что об образовании жидкой фазы не могло быть и речи.

Следующей была отвергнута версия о локальных высокочастотных перенапряжениях. Они могли возникать только на одной (и не самой проблемной) из линий, имевшей отпайку на тяговую подстанцию электрифицированной железной дороги. На этом участке дорога питается переменным током с напряжением в системе «два провода-рельс» (ДПР) 28,5 кВ. В самой сети ДПР действительно могут возникать достаточно большие провалы напряжения и перенапряжения, соответственно при трогании с места и торможении тяжёлых грузовых составов (рисунок 1). Однако трансформация возмущений на сторону питающей сети 220 кВ даёт, согласно расчётам, перенапряжения с амплитудой менее 10%. Следовательно, версия о перенапряжениях также не годится для объяснения перекрытия изоляции ВЛ.

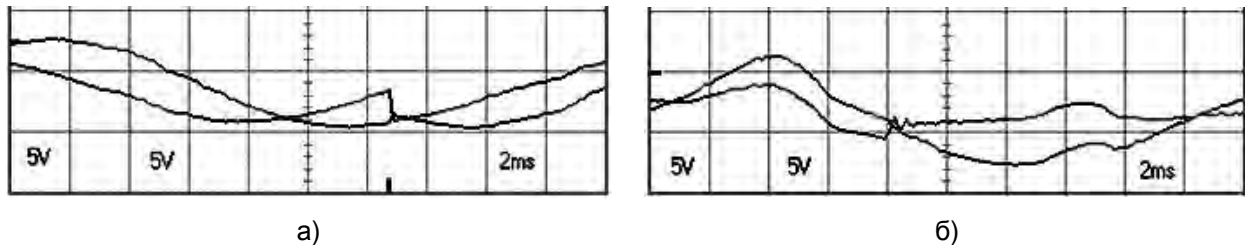


Рисунок 1 – Осциллограммы напряжений в контактной сети при трогании с места (а) и торможении (б) тяжёлого грузового состава (коэффициент деления по напряжению – 104)

Поэтому, если исключить из рассмотрения совсем уж экзотические и маловероятные причины перекрытия изоляции, то остаётся только «птичья» версия, точнее её вариант с перекрытием изоляции по струе помёта. Её можно усилить следующими аргументами.

1 Линия с наибольшим числом осенне-зимних отключений, смонтирована на железобетонных (ж/б) опорах. В коридоре с нею построены две ВЛ на металлических опорах, и на них отключений практически не было. Это повсеместный и уже достаточно устоявшийся признак «птичьих» отключений: на ж/б опорах птицам сесть некуда, кроме как тросостойку или на конец траверсы над проводом.

Конец траверсы греется индуктированными токами от магнитного поля, которое, в свою очередь, формируется рабочим током в проводе линии. Например, термограмма на рисунке 2, полученная на линии схожей конструкции, показывает нагрев конца траверсы более чем на 10  $^{\circ}\text{C}$ . В тихую погоду, когда тепло не уносится ветром, конец траверсы для птиц становится более привлекательным для посадки, чем другие элементы опоры. Напомним в связи с этим, что все осенне-зимние перекрытия случились именно в штиль.

2 Тот факт, что перекрытия преимущественно случаются на фазах с длинными траверсами, также можно привлечь для усиления птичьей версии. Во-первых, чем длиннее траверса, тем больше напряжённость магнитного поля, некомпенсированного токами в других

фазных проводах, и тем сильнее нагрев индуцированными в траверсе токами. Во-вторых, на конце длинной траверсы обзор для поиска наземной добычи меньше ограничивается телом опоры и более «пригоден» в качестве исходной позиции для атаки.

3 Косвенное подтверждение «птичьей» версии можно получить из анализа осциллограмм напряжений записанных регистратором аварийных событий, во время 4-х отключений одной из ВЛ в ноябре 2012 г. Фрагменты записей двух отключений приведены на рисунке 3.

Из анализа осциллограмм видно, что все перекрытия произошли в отсутствие явных перенапряжений. Мгновенные значения фазного напряжения перед отключениями были близки к амплитудным. Этот факт говорит об «электрическом» механизме пробоя воздуха, по крайней мере, в стадии перед полным перекрытием изоляции линии.

Два из четырёх отключений одной из ВЛ произошли в положительном полупериоде, два – в отрицательном, то есть эффекта полярности в явном виде не было. Обе особенности осциллограмм укладываются в логику двух противоречащих друг другу версий перекрытия «по струе помёта» и перекрытия по «грязи». Последнее, по всей видимости, также заканчивается пробоем воздушного промежутка между концом дугового канала и землёй. Но при перекрытии по поверхности должны быть видны следы ожога тарелок дугой, а их не было.

Попытаемся развить далее версию перекрытия воздушного изоляционного промежутка по струе помёта. Время полёта помёта до провода можно посчитать по школьной формуле для свободного ускорения

$$s = gt^2.$$

При  $s = 2,5$  м получаем  $t = 0,5$  с или 25 периодов напряжения.

Если представить струю помёта относительно медленно (по сравнению с периодом напряжения) удлиняющейся от траверсы к проводу линии в виде проводящего стержня, то вполне логично, что пробой оставшегося до провода промежутка происходит вблизи максимума напряжения, достаточного для пробоя оставшегося воздушного промежутка до провода. Исходя из типичного значения разрядного градиента 4,5-5,0 кВ/см, можно определить

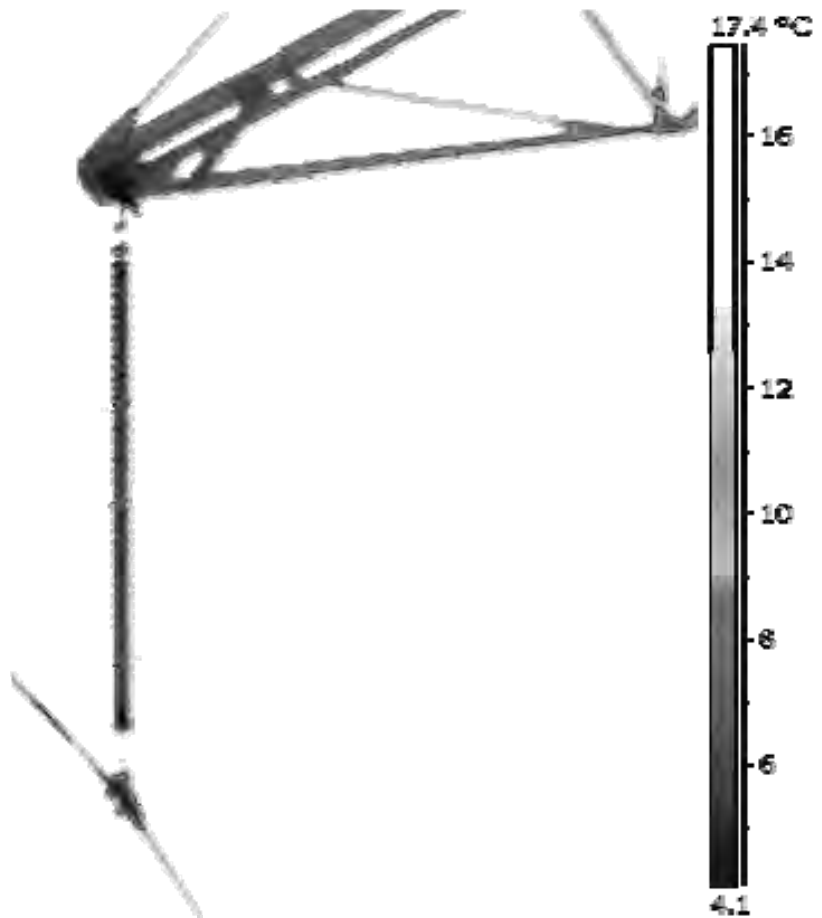


Рисунок 2 – Термограмма (негатив) крайней фазы ВЛ 220 кВ в тихую погоду

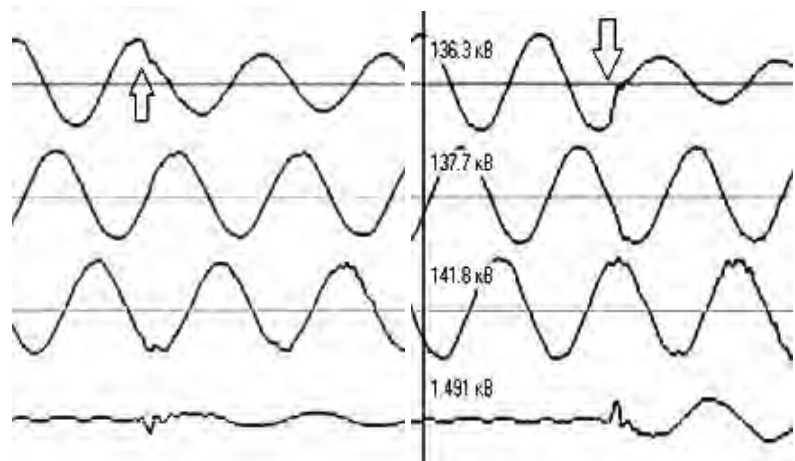


Рисунок 3 – Осциллограммы фазных напряжений при двух отключениях ВЛ (стрелками отмечены моменты отключений)

ориентировочные расстояния между проводом и струёй помёта в момент пробоя в 24-30 см.

Полярность напряжения в момент пробоя может быть любой, поскольку промежуток «стержень-провод» обладает неоднородностью с обеих сторон. Разница будет только в направлении развития искрового пробоя. При отрицательной полярности напряжения на проводе разряд будет направлен от нижнего конца струи помёта к проводу, а на плюсе – с провода к струе помёта. При отрицательной полярности напряжения на проводе разрядные градиенты будут немного меньше, так как неравномерность поля будет больше на положительном «стержне», чем на «положительном» проводе. Нечто похожее наблюдалось в лабораторных испытаниях макетов изолирующих подвесок проводов ВЛ с имитацией струи птичьего помёта, которые проводились в Германии [5] и Бразилии [6].

Итак, в пользу «птичьей» версии перекрытия мы привели несколько аргументов. Однако, они могут показаться неубедительными, если не указать конкретных виновников, то есть вида птиц, которые могли бы это делать. Ясно, что все перелётные птицы выпадают из рассмотрения, поскольку речь идёт об отключениях в осенне-зимний период. Из зимующих птиц более или менее подходили бы вороны, но они не охотятся в тёмное время суток. Из этого логического тупика, помог выбраться случайный фотоснимок, сделанный в том же ноябре 2012 г. (рисунок 4).



Рисунок 4 – Белая сова с добычей (снимок сделан в центре г. Новосибирска)

Полярная или белая сова в центре мегаполиса, казалось бы, редкий гость. Именно это обстоятельство заставило нас заглянуть в Интернет [7], чтобы найти следующие сведения.

Полярная сова – самая крупная птица из отряда совообразных в тундре. Длина тела самки может достигать 70 см, а масса 3 кг. Размах крыльев составляет в среднем 142-166 см. Полярная сова – активный хищник. Основу её питания составляют мышевидные грызуны, в первую очередь лемминги. За год одна сова съедает более 1600 леммингов. Полярная сова тяготеет к открытым пространствам. Ей претит любая высокая растительность. Связано это со способом охоты. Птица всегда охотится, устраиваясь на возвышенном месте, с которого высматривает добычу. Охотиться предпочитает в ранние утренние или вечерние часы.

Обычно большинство сов улетает с крайнего севера на зиму, оседая в открытых ландшафтах – лесотундре, в степной полосе до 50° с.ш. Начинаются кочёвки в сентябре-октябре. Регулярные зимовки в степях Западной Сибири и Казахстана, в юго-восточном Забайкалье и Приамурье. Если с едой совсем плохо, то птица летит ещё дальше на юг. Динамика численности в Юго-Восточном Забайкалье зависит от успешности размножения и обилия грызунов на местах гнездования и от обилия корма и глубины снежного покрова на юго-востоке края. Общую численность на территории края в зимний период 2008-2009 гг. можно приблизительно оценить в 200 птиц; в зимний период 2010-2011 гг. – около 50 птиц. Лимитирующие факторы: депрессия численности грызунов и пищух, глубокий снежный покров. Часты случаи отстрела птиц охотниками; предположительно часть птиц гибнет на линиях электропередачи. Принятые меры охраны: уничтожение птиц запрещено; места зимовки охраняются в заказниках; в 2012 г. энергетики оборудовали птице-защитными устройствами две первые ЛЭП в Юго-Восточном Забайкалье.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Gutman, I. Research Provides Insight into Unexpected Line outages / I. Gutman, E. Solomonik, W. Vosloo // INMR. -2011. -Q4. -P. 78-86.
- 2 Seifert, J.M. Investigations of bird streamer flashovers at 400 kV overhead transmission line composite insulator sets / J.M. Seifert // Proceedings of the 13th International Symposium on High-Voltage Engineering (ISH 2003), Rotterdam. -2003.
- 3 Боровицкий, В.Г. Высокочастотные перенапряжения на ВЛ 110 кВ при отключениях отпаечных линий / В.Г. Боровицкий, А.Г. Овсянников // Новости электротехники. -2012. -№6. -С. 58-60.
- 4 Александров, Г.Н. Электрическая прочность наружной высоковольтной изоляции / Г.Н. Александров, В.Л. Иванов, В.Е.

Кизеветтер. -Л.: Энергия, 1969. -240 с.

5 Kaiser, G. Der Mäusebussard als Ursache der einpoligen Freileitungsfehler in 110 kV-Hochspannungsnetzen / G. Kaiser // ETZ A. -1970. -№91. -С. 313-317.

6 Garcia, R.W.S. Investigation of the effects of the presence of large birds on overhead line structures in Brazil / R.W.S. Garcia // Proceedings of the 17th International Symposium on High-Voltage Engineering (ISH 2011), Aug. 22-26, Hannover. -2011. -P. G-003.

7 Режим доступа: Website <http://zooclub.ru/birds/vidy/184.shtml>.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** воздушные линии электропередачи, отключения, следы перекрытия, невыясненные причины перекрытия

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Смоленцев Максим Валерьевич, заместитель главного инженера МЭС Сибири, филиал ОАО «ФСК ЕЭС»

Львов Евгений Валерьевич, начальник службы диагностики МЭС Сибири, филиал ОАО «ФСК ЕЭС»

Боровицкий Василий Геннадьевич, зам. главного инженера ОАО «Тюменьэнерго»

Арбузов Роман Сергеевич, канд. техн. наук, директор Новосибирская СПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

Овсянников Александр Георгиевич, докт. техн. наук, заместитель директора по науке Новосибирская СПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:**

660099, г.Красноярск, ул.А.Лебедевой, 117, МЭС Сибири, филиал ОАО «ФСК ЕЭС»

628412, Тюменская область (ХМАО-Югра), г.Сургут, ул.Университетская, 4, ОАО «Тюменьэнерго»

630126, г.Новосибирск, мкр.Зеленый Бор, 7, Новосибирская СПБ, филиал ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС»

## **КОНДУКТИВНЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИЕСЯ ПО ПРОВОДАМ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

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

**Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов**

### **THE CONDUCTIVE LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC HINDRANCES EXTENDING ON WIRES OF POWER LINES**

Novosibirsk state academy of water transport

Ju.M. Denchik, M.N. Ivanov

Parameters of a field of events in an electric network are considered. Theoretical bases of the conductive low-frequency electromagnetic hindrances caused by the low-quality electric power and extending on wires are given.

*Keywords:*

Рассмотрены параметры поля событий в электрической сети. Приведены теоретические основы кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех, обусловленных некачественной электроэнергией и распространяющихся по проводам.

Нестандартные показатели качества электроэнергии (КЭ) усложняют электромагнитную обстановку (ЭМО) в электрических сетях напряжением от 6 до 750 кВ. Из-за этого нарушаются уровни электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств, в том числе и самих сетей как рецепторов, для кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех (ЭМП), распространяющихся по проводам. В результате снижается качество функционирования технических средств. Между тем в основных нормативно-технических и методических документах [1-4] не приводятся сведений по определению (расчёту или измерению) кондуктивных ЭМП в высоковольтных сетях, обусловленных низким качеством электроэнергии. Анализ этих директивных документов позволяет сформулировать следующие общие выводы об искажающем аспекте качества электроэнергии:

– электрические сети переменного тока не представлены как рецепторы, то есть как технические средства, реагирующие на электромагнитные сигналы и (или) помехи, обусловленные нестандартными показателями КЭ;

– отсутствуют методические указания по расчёту кондуктивных низкочастотных ЭМП, распространяющихся по высоковольтным сетям, и параметров ЭМС в сложной ЭМО, обусловленной некачественной электроэнергией в сетях среднего и высокого классов напряжения системы электроснабжения общего назначения;

– отсутствуют методические рекомендации по мониторингу за кондуктивными низкочастотными ЭМП, распространяющимися по сетям электроэнергетической системы;

– не наблюдается различие между стандартными и нестандартными показателями КЭ, последние, обнаруженные (измеренные) средствами измерения, не характеризуют электроэнергию как товар, по ним можно только косвенно судить об электромагнитных процессах в



сетях.

Сложившаяся ситуация объясняется недостаточным объёмом выполненных исследований по вопросам показателей КЭ и ЭМС технических средств в электрических сетях напряжением от 6 до 750 кВ. Не развитой теорией кондуктивных ЭМП, снижающих параметры ЭМС технических средств.

Практическая значимость необходимости дальнейшего развития теоретических основ и разработки научно-технических положений указанных ЭМП, влияющих на уровни ЭМС технических средств, обуславливается острой потребностью в повышении эффективности использования электроэнергии и энергетической безопасности регионов страны. После вступления Российской Федерации во всемирную торговую организацию (ВТО) возрастает ответственность энергоснабжающих и энергопотребляющих организаций за качество электроэнергии [5].

Среди показателей КЭ, обозначенных в стандарте [1], особое место занимают те, что не могут быть получены через непосредственные измерения, а только при проведении анализа электрического сигнала. Это показатели, которые определяются по усреднённым интервалам (установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$ , коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$ , отклонение частоты  $\Delta f$ , коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$ , коэффициенты несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и по нулевой последовательности  $K_{0U}$ ).

В [6] с помощью теоремы о параметрах показано, что достоверность усреднённых значений достигается при условии непрерывности (интегрируемости) функции  $f(X_i)$  измеряемого показателя КЭ  $X_i$  на интервале усреднения. Это условие соблюдается, если показатели КЭ изменяются в нормируемых пределах. При этом фактически отсутствуют переходные процессы в сетях, продолжительность которых значительно меньше интервала усреднения. При наличии искажений в электрической сети измеренные показатели КЭ в течение расчётного времени (24 ч) образуют множество, состоящее из различных значений, часть которых не удовлетворяет требованиям стандарта или все показатели КЭ являются нестандартными. Это множество представляет поле событий, обусловленных электромагнитными процессами, протекающими в электрической сети и формирующими ЭМО.

Применяя метод декомпозиции системного анализа в электроэнергетике, разделяется единый сложный электромагнитный процесс в электрической сети, обусловленный искажающей нагрузкой, на отдельные по названию показатели КЭ. Иными словами, допускается существование самостоятельных электромагнитных процессов, которые вызываются недопустимыми значениями усреднённых показателей КЭ. Время протекания сложного электромагнитного процесса невозможно определить по показаниям электроизмерительных приборов. В связи с этим функцию  $f(X_i)$  нельзя признать непрерывной. Поэтому, согласно теореме о существовании определённого интеграла, она не интегрируется [6]. В этом случае, строго говоря, показания приборов не являются параметрами ЭМО. Из-за этого по показаниям щитовых подстанционных приборов можно только косвенно судить о функционирующих в сетях общего назначения электромагнитных процессах, нарушающих ЭМС технических средств.

Для того чтобы показания приборов отображали ЭМО, необходимо исключить интервалы усреднения. Это возможно при условии изменения концепции построения этих приборов: наделения их первичной и главной функцией многоканального осциллографирования процессов и сохранения всех присущих им полезных функций [7].

В связи с этим исследования переходных процессов искажений напряжения и частоты необходимо осуществлять путём осциллографирования (графический способ) и дальнейшей обработки осциллограмм на компьютерах по специальным программам. Однако при этом остаётся неясным: как определять параметры ЭМО, представленной полем событий?

Пусть параметр ЭМО при нестандартном значении  $i$ -го показателя КЭ имеет обозначение  $X_i(t)$ , тогда измеренные значения связаны с полем событий и характеризуются таблицей вероятностей вида [8]

$$X_i(t) \left\{ \begin{array}{l} f(X_1), f(X_2), \dots, f(X_i), \dots, f(X_k) \\ p(X_1), p(X_2), \dots, p(X_i), \dots, p(X_k) \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Видно, что каждое событие  $X_i(t) = f(X_i)$  имеет вероятность  $p[X_i(t)] = p(X_i)$ .

Исходными условиями для определения параметров распределения поля событий являются следующие положения:

- показатели КЭ определяются случайными процессами в сетях системы электроснабжения общего назначения, обусловленными многими случайными факторами;
- показатели КЭ измеренные за расчётный период (24 ч) образуют поле событий и характеризуются таблицами вероятностей вида (1);
- нормируемые значения показателей КЭ являются параметрами ЭМО и уровнями ЭМС технических средств для кондуктивных низкочастотных ЭМП в сетях общего назначения, характеризуют электроэнергию как товар;
- нестандартные показатели КЭ не являются параметрами ЭМО, по ним можно только косвенно судить о электромагнитных процессах нарушающих ЭМС технических средств.

Несмотря на различие по своей природе рассматриваемые показатели КЭ  $(\delta U_y, K_U, K_{U(n)}, K_{2U}, K_{OU}, \Delta f)$  имеют два вида норм: нормально допустимые и предельно допустимые значения. Оценка соответствия этих показателей КЭ требованиям стандарта производится с учётом следующих положений [1]:

- наибольшие значения не должны превышать предельно допустимых значений;
- остальные значения, определённые с вероятностью 95%, не должны превышать нормально допустимых значений.

Величина  $X_i$ -значение  $i$ -го показателя КЭ является дискретной случайной величиной. Дискретное распределение считается теоретически заданным, если известны все возможные значения  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ , принимаемые величиной, и вероятности  $p(X_1), p(X_2), p(X_3), \dots, p(X_k)$  для каждого события. Так как значения  $X_i$  образуют полную группу событий, то имеем [8]

$$\sum_{i=1}^k p(X_i) = 1, \quad (2)$$

где  $k$  – номер последнего значения распределения.

Плотность распределения  $p(X_i)$  обуславливается законом распределения случайной величины  $X_i$ . Параметрами распределения являются математическое ожидание случайной величины (первый начальный момент) и дисперсия (второй центральный момент). По данным [7] распределения значений показателей КЭ за расчётный период наиболее чаще соответствуют нормальному и равномерному законам распределения, реже экспоненциальному и другим. Поле событий формирует кондуктивную низкочастотную ЭМП, обусловленную некачественной электроэнергией и распространяющуюся по проводам сетей.

В общем случае процесс возникновения этой помехи по одному из нарушенных показателей КЭ  $X_i = X$  (для простоты записи индекс  $i$  в дальнейшем опускается), нормируемого положительными и отрицательными нормально и предельно допустимыми значениями, представляется математической моделью [9]

$$X \left[ \begin{array}{l} P(X_H < X < X_n) + P(-X_n < X < -X_H) > 0,05 \\ P(X_n < X < \infty) + P(-\infty < X < -X_n) \neq 0 \end{array} \right] \subseteq \delta X, \quad (3)$$

где  $X \subset \delta X$ ;  $X$  – подмножество  $\delta X$ , в том числе имеется ввиду возможность  $X \subseteq \delta X$ , то есть между  $X \subset \delta X$  и  $X \subseteq \delta X$  различия не делается;

$\delta X$  – кондуктивная низкочастотная ЭМП, распространяющаяся по сетям;

$X_H, X_n$  – соответственно нормально и предельно допустимое положительное значение рассматриваемого показателя КЭ;

$X_H, -X_n$  – соответственно нормально и предельно допустимое отрицательного значения рассматриваемого показателя КЭ.

Иными словами, кондуктивная низкочастотная ЭМП  $\delta X$  появляется в сетях, если в течение расчётного времени сумма вероятностей  $P(X_H < X < X_n) + P(-X_n < X < -X_H)$  нахождения  $X$  в пределах  $(X_H, X_n)$  и  $(-X_H, -X_n)$  превышает 0,05, а сумма вероятностей  $P(X_n < X < \infty) + P(-\infty < X < -X_n)$  появления  $X$  в пределах  $(X_n, \infty)$  и  $(-\infty, -X_n)$  не равна нулю. Эта кондуктивная ЭМП появляется также при выполнении только одного условия.

Для определения моментов распределения дискретных случайных величин, заданных действительными (вещественными) числами вместо характеристических функций, используются производящие функции [7, 8].

В нашем случае для вычисления моментов распределения (1) используется искусственный приём. Предварительно допускаем [9], что

$$\delta X = \exp(Xt), \quad (4)$$

где  $t$  – время.

Математическое ожидание величины  $\delta X$  будет некоторой функцией от  $t$ , то есть

$$m_X(t) = M[\exp(Xt)], \quad (5)$$

где суммирование распространяется на все возможные величины  $X$ . Функция  $M[\exp(Xt)]$  является производящей функцией случайной величины  $X$ .

Теперь требуется доказать допустимость нашего предположения формула (4). С этой целью рассматривается теорема о начальных моментах, которая формирует первое свойство производящей функции.

*Теорема.* Начальные моменты  $\nu_k$  распределения случайной величины  $X$ , заданного вероятностями  $p(X)$ , равны значениям  $k$ -ой производной от функции  $m_X(t)$  в точке  $t=0$ , то есть

$$\nu_k = \left. \frac{d^k}{dt^k} m_X(t) \right|_{t=0}, \text{ при } k = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

Кроме того

$$m_X(0) = \nu_0 = 1. \quad (7)$$

*Доказательство.* Равенство (7) проверяется непосредственно. Ввиду того, что  $\exp(0) = 1$ , имеем

$$m_X(0) = M[\exp(X \cdot 0)] = M[1] = 1. \quad (8)$$

Однако, при любом  $X$ , как известно,

$$\frac{d^k}{dt^k} \exp(Xt) = X^k \exp(Xt), \quad (9)$$

и потому из формулы (5) после дифференцирования  $k$  раз по  $t$ , имеем

$$\frac{d^k}{dt^k} m_X(t) = \sum_X X^k \exp(Xt) p(X). \quad (10)$$

Полагая в этом тождестве  $t = 0$ , получаем

$$\left\{ \frac{d^k}{dt^k} m_X(t) \right\}_{t=0} = \sum_X X^k p(X) = M[X^k] = \nu_k. \quad (11)$$

Теорема доказана.

*Следствие 1.* Важнейшим следствием этой теоремы является возможность использовать математическое ожидание случайной величины  $X$  для оценки математического ожидания случайной величины  $\delta X$ . Точнее, математическое ожидание случайной величины  $X$ , равняется математическому ожиданию случайной величины  $\delta X$ , то есть

$$M[X] = M[\delta X]. \quad (12)$$

*Следствие 2.* Для величины  $X' = X - \nu_1$ , то есть при отклонении величины  $X$  от математического ожидания  $\nu_1$  (центр группирования) справедливо равенство [8]

$$m_{X'}(t) = m_X(t). \quad (13)$$

Следовательно, можно принять, что центральные моменты случайной величины  $X$  и случайной величины  $\delta X$  одинаковы. В частности, одинаковы дисперсии

$$D[X] = D[\delta X], \quad (14)$$

и среднеквадратические отклонения

$$\sigma[X] = \sqrt{D[X]} = \sigma[\delta X] = \sqrt{D[\delta X]}, \quad (15)$$

плотности вероятностей распределения

$$\varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} = \varphi\{\delta X, M[\delta X], \sigma[\delta X]\}. \quad (16)$$

Интегральные функции распределения, приведённые в математической модели (3), определяются по выражениям:

$$P(X_H < X < X_H) = \int_{X_H}^{X_H} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX; \quad (17)$$

$$P(X_H < X < \infty) = \int_{X_H}^{\infty} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX; \quad (18)$$

$$P(-X_H < X < -X_H) = \int_{-X_H}^{-X_H} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX; \quad (19)$$

$$P(-\infty < X < -X_H) = \int_{-\infty}^{-X_H} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dX. \quad (20)$$

Вероятность появления кондуктивной ЭМП  $\delta X$  рассчитывается по формуле [9]

$$P(\delta X) = P(X_H < X < X_H) + P(X_H \leq X \leq \infty) + P(-X_H < X < -X_H) + P(-\infty < X < -X_H) - 0,05. \quad (21)$$

Таким образом, методика определения моментов распределения параметров поля событий в электрических сетях при сложной ЭМО имеет существенное прикладное значение. Она позволяет использовать стандартные и нестандартные значения показателей КЭ за расчётный период измерения, полученные с помощью измерительно-вычислительных комплексов типов «Омск-М», «Ресурс-UF», ППКЭ-1-50 и др. для расчёта параметров кондуктивных низкочастотных ЭМП, распространяющихся по сетям (математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и вероятность появления за расчётный период. Эта помеха научно-обоснованно характеризует ЭМО в сетях СЭС общего назначения, является параметром ЭМС технических средств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 01-01-99. -Минск: Стандарты, 1998. -31 с.
- 2 РД 153-34.0-15.501-00. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Ч.1, 2. -М.: Минэнерго Рос. Федерации, 2000. -127 с.
- 3 СТО 56947007-29.240.044-2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. -М.: ФСК ЕЭС, 2010. -147 с.
- 4 СО 34.35.311-2004. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. -М.: ЕЭС России, 2004. -107 с.
- 5 Висящев, А.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах: учеб. для вузов по направлению 650900 «Электроэнергетика» / А.Н. Висящев. -Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. -446 с.
- 6 Иванова, Ю.М. Параметры электромагнитной обстановки в сети с искажающей нагрузкой / М.Г. Вишнягов, Ю.М. Иванова, В.Г. Сальников // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№2. -С. 242-247.
- 7 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.
- 8 Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики / Н.В. Смирнов. -М.: Наука, 1965. -511 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электромагнитная совместимость, поле событий, параметр, электромагнитные помехи  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Иванов Михаил Николаевич, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЗКОБОРОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ОАО Научно-производственное объединение «Элсиб»  
 ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**О.А. Князев, Г.Е. Солнцев, Ю.Н. Смыков, В.М. Васильев, К.В. Корнеев,  
 В.Э. Чирке, А.М. Шарипов**

### DESIGN OF LOW-SPEED ELECTRIC CARS TO SMALL-SCALE POWER

Scientific production association Elsib

Novosibirsk state academy of water transport

O.A. Knyazev, G.E. Solntsev, Yu.N. Smykov, V.M. Vasilev, K.V. Korneev, V.E. Chirke, A.M. Sharipov

The article presents information on the design of multi-pole synchronous machines for direct interfacing with low-speed turbines having armature winding to the number of slots per pole and phase of less than one. The data of an experimental determination of the scattering of winding resistance.

*Keywords: electric car, the number of poles, the number of pacall on the pole and phase, resistance scattering, differential scattering*

Приведены сведения о проектировании многополюсных синхронных электрических машин для непосредственного сопряжения с низкоскоростными турбинами, имеющими якорные обмотки с числом пазов на полюс и фазу меньшим единицы. Приведены данные экспериментального определения, сопротивления рассеяния таких обмоток.

В практике создания оборудования для малой энергетики известны агрегаты, приводные двигатели которых имеют весьма низкую частоту вращения 20-40 мин<sup>-1</sup>. Например, это двигатели с ортогональными рабочими колёсами на основе ротора Дарье, применяемые как ветровые, так и гидравлические турбины [1, 2].

Сопряжение таких турбин с генераторами производится обычно через мультипликатор, выходной вал которого имеет частоту вращения на уровне 1000-1500 мин<sup>-1</sup>, что соответствует среднему значению номинальных частот вращения серийно выпускаемых генераторов переменного тока мощностью 50-4000 кВт. Такие генераторы имеют число полюсов 6-10. Срок службы мультипликаторов около 15 лет [3]. Нормативный же срок службы генераторов, например, гидроэнергетике, составляет 40 лет [4]. В течение этого срока возникает необходимость покупки не менее трёх мультипликаторов, стоимость которых соизмерима со стоимостью высокооборотных генераторов.

Мультипликаторы отличаются повышенными расходами на их обслуживание и ремонт, высоким уровнем шума (до 90 дБ).

Сравнительно большие размеры рабочих колёс ортогональных ветро- и гидротурбин 3-5 м в диаметре – позволяют вести речь о генераторах, которые сопрягались бы с турбинами традиционно, непосредственным соединением валов и вписывались бы в строительные размеры гидростанции, определяемые турбиной.

Однако при этом генераторы становятся тихоходными и многополюсными. Например, при стандартной частоте тока 50 Гц и выше указанном диапазоне частоты вращения, число полюсов становится равным 300-150.

Такое количество полюсов на машину не встречалось в отечественной и зарубежной практике создания, например, синхронных явнополюсных генераторов. Известное наибольшее число полюсов 120.

При конструировании обмотки якоря (статора) принимается во внимание характерный параметр, именуемый «число пазов на полюс и фазу»

$$q = \frac{Z}{2p \cdot m},$$

где  $Z$  – число пазов;

$m$  – число фаз.

Этот параметр традиционно [5]:

– целое число,  $q = 1, 2, 3, \dots$ ;

– дробное число вида

$$q = b + \frac{c}{d},$$

где  $b, c, d$  – целые числа 1, 2, 3, ...;

$c/d$  – правильная несократимая дробь.

Таким образом, наименьшее рекомендуемое значение  $q = 1$ .

Однако при этом, например, для частоты вращения турбины  $n = 37,5$  мин<sup>-1</sup> и частоте тока  $f = 50$  Гц необходимое число полюсов составляет уже

$$2p = \frac{120 \cdot f}{n} = \frac{120 \cdot 50}{37,5} = 160,$$

и число пазов будет равно

$$Z = 2p \cdot m \cdot q = 160 \cdot 3 \cdot 1 = 480.$$

Генераторы энергоагрегатов в большинстве своём имеют линейные напряжения 6,3-13,8 кВ и двустороннюю толщину корпусной изоляции обмоток якоря (статора) 4,5-7,5 мм. При большом числе полюсов и, соответственно пазов, увеличивается доля изоляции в объёме пазово-зубцового слоя. Кроме того, обмотки с  $q \geq 1$  имеют первый частичный шаг секций в несколько зубцовых делений

$$y_1 = m \cdot q,$$

и, поэтому, увеличенную длину и вылет лобовых частей. Всё это приводит к росту размеров

активной зоны машины и её габаритных размеров.

Эти недостатки успешно преодолеваются применением обмоток с число пазов на полюс и фазу  $q < 1$  и с первым частичным шагом  $y_1 = 1$ . Такие обмотки в литературе именуется «однозубцовыми» [6].

Критериями правильного выбора параметров такой обмотки являются её симметрия по фазам и приемлемое значение обмоточного коэффициента, учитывающего снижение ЭДС обмотки от неравенства ширины её секции полюсному делению и от распределения секций под полюсами по сравнению с ЭДС обмотки, имеющей  $q = 1$  и диаметральный шаг  $y_1 = m \cdot q$  пазовых делений (сосредоточенная обмотка с диаметральный шагом). Обычно этот коэффициент находится в пределах  $K_w = 0,90 \dots 0,97$ .

Для упомянутого выше примера  $m = 3$  и  $2p = 160$  одним из приемлемых вариантов удовлетворяющих этим критериям, является обмотка с  $q = 3/8$ . Число пазов обмотки при этом будет

$$Z = 160 \cdot 3 \cdot \frac{3}{8} = 180,$$

в 2,66 раза меньше, чем при  $q = 1$ .

Знаменатель дроби  $d = 8$  указывает, что структура обмотки повторяется через каждые  $2p_s = 8$  полюсов и  $Z_s = 9$  пазов.

Схема обмотки на периоде повторяемости изображена на рисунке 1.

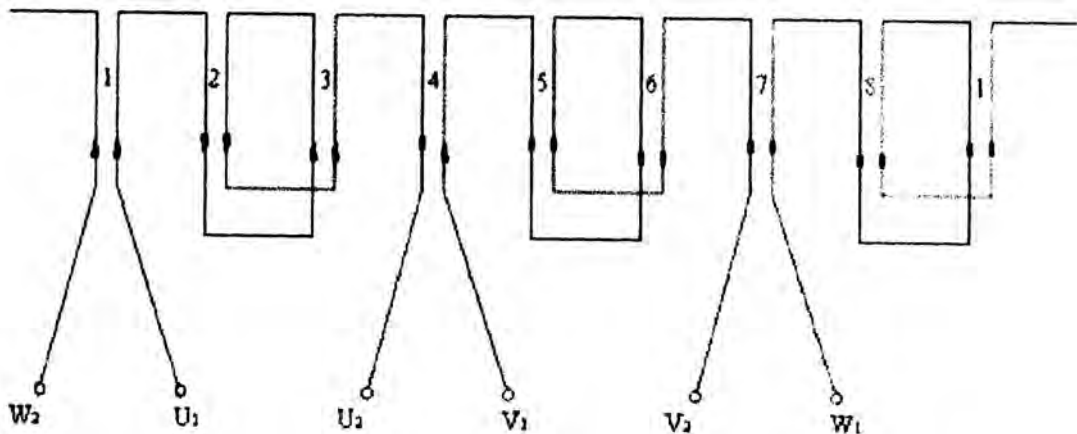


Рисунок 1 – Схема обмотки  $Z_s = 9$ ;  $2p_s = 8$ ;  $q = 3/8$ ;  $y_1 = 1$

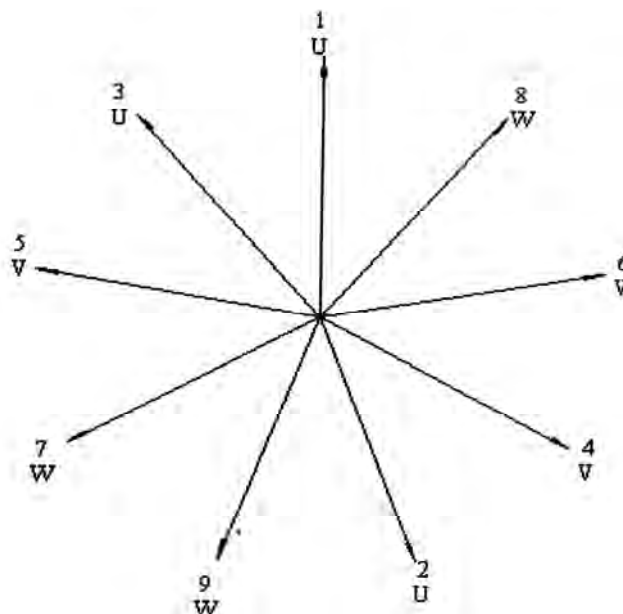


Рисунок 2 – Звезда пазовых ЭДС обмотки с  $Z_s = 9$ ;  $2p_s = 8$ ;  $m = 3$

На рисунке 2 показана векторная диаграмма ЭДС катушек («звезда» ЭДС) в пределах периода повторяемости структуры обмотки. Угол пазового сдвига

$$\alpha_z = \frac{2p_s \cdot \pi}{Z_s} = \frac{8 \cdot 180^\circ}{9} = 160 \text{ эл.град.}$$

Из диаграммы следует:

- укорочение шага  $y_1$  .....  $\beta = 0,88$  о.е.;
- коэффициент укорочения .....  $f_\beta = 0,984$  ;
- коэффициент распределения .....  $f_p = 0,959$  ;
- обмоточный коэффициент .....  $f_w = f_\beta \cdot f_p = 0,941$ .

К очевидным преимуществам обмотки с  $q < 1$ , кроме отмеченных, можно отнести ещё простоту схемы соединений катушек.

Результаты проектирования электрических машин указывают, что их параметры, определённые традиционными методами, например по [5, 7], имеют высокие значения. Особенно это касается сопротивления рассеяния обмотки якоря  $x_\sigma$ .

Векторная сумма напряжения машины  $U$ , и падения напряжения на сопротивлении рассеяния  $I x_\sigma$ , составляет внутреннюю ЭДС машины  $E_s$ , которая создаётся действующим в ней магнитным потоком.

Обычно величина его выбирается в пределах короткого участка перегиба характеристики намагничивания  $E = \varphi(F)$ , (рисунок 3). Поэтому точное значение  $x_\sigma$  весьма важно при определении размеров машины и её технико-экономических показателей.

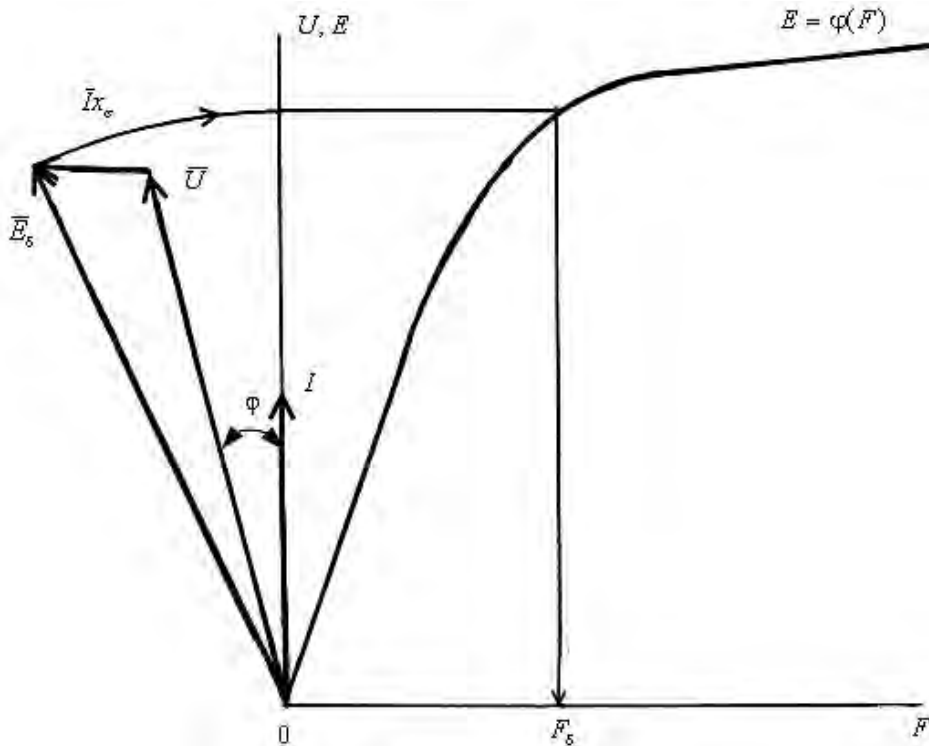


Рисунок 3 – Фрагмент векторной диаграммы ЭДС, напряжений и падений напряжения синхронной машины

В связи с этим было проведено расчётно-экспериментальное исследование параметров синхронной явнополюсной электрической машины с обмоткой якоря при  $q < 1$ .

Основные данные машины:

- мощность ..... 190 В·А;
- частота тока ..... 17 Гц;
- частота вращения ..... 65 мин<sup>-1</sup>;
- диаметр расточки статора ..... 200 мм;
- длина сердечника ..... 41 мм;
- воздушный зазор ..... 0,5 мм;

- число полюсов ..... 32;
- число пазов ..... 36;
- число фаз ..... 3;
- возбуждение ..... от ПМ;
- конструкция ротора ..... коллекторная.

Расчёт сопротивления рассеяния проведён по [7], в котором указывается его распространение на обмотки с  $q < 1$ . Результат расчёта:  $x_\sigma = 0,967$  Ом. При этом проводимости составляющих потока рассеяния составили:

- пазовая часть .....  $\lambda_n = 1,062 \cdot 10^{-6}$  Вб/(А·м);
- лобовая часть .....  $\lambda_s = 0,095 \cdot 10^{-6}$  Вб/(А·м);
- головки зубцов .....  $\lambda_z = 6,079 \cdot 10^{-6}$  Вб/(А·м).

По головкам зубцов замыкаются магнитные потоки, созданные высшими и низшими гармоническими составляющими магнито-движущей силы обмотки – поток дифференциального рассеяния. Как видно, эта составляющая преобладает.

Опытное определение  $x_\sigma$  осуществлено при вынутом роторе методом ГОСТ 10169 «Машины электрические трёхфазные синхронные. Методы испытаний». Результаты представлены в таблице 1.

*Таблица 1 – Результаты определения сопротивления рассеяния*

$U_n$ , В	$I$ , А	$f$ , Гц	$x_a$ , Ом	$x_\sigma$ , Ом	$x_\sigma$ , Ом
11,1	4,68	50	1,045	0,553	0,492
4,36	2,75	17	0,315	0,182	0,133
6,73	4,103	17	0,326	0,182	0,143
7,98	4,785	17	0,315	0,185	0,130

где  $x_a$  – индуктивное сопротивление фазы;

$x_\sigma$  – индуктивное сопротивление, обусловленное потоком на активной поверхности статора, создаваемым обмоткой статора в том пространстве, которое занимает ротор;

$x_\sigma$  – искомое сопротивление

$$x_\sigma = x_a + x_\sigma.$$

При частоте тока  $f = 17$  Гц среднее значение  $x_\sigma = 0,135$  Ом. Результат при частоте тока  $f = 50$  Гц, пересчитанный на  $f = 17$  Гц, составляет 0,167 Ом и по мнению авторов более точен, так как обработке данных для  $f = 17$  Гц определяются разности близких величин.

Как видно опытные значения  $x_\sigma$  существенно отличаются от расчётных в меньшую сторону и, очевидно, благодаря незначительности дифференциальной составляющей. Этот факт согласуется с данными, сообщёнными в [6, 8].

В ходе эксперимента проведён также гармонический анализ кривых линейного и фазного напряжений. Коэффициент искажения составил:

- для линейного напряжения 0,58%;
- для фазного напряжения 1,9%.

Нормально допустимые значения коэффициента искажения по ГОСТ 13109 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» при напряжении 0,4-300 кВ равны 8-2%.

**Заключение.** 1 Применение однозубцовых обмоток с  $q < 1$  в многополюсных тихоходных электрических машинах даёт определённые преимущества по сравнению с обмотками, в которых традиционно принимается  $q \geq 1$ .

2 Данные эксперимента указывают на значительное отклонение опытных данных от расчётных в меньшую сторону, что благоприятно с точки зрения качества машины. Однако для надёжности проектирования необходимо в дальнейшем привести эти данные в соответствие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ветроэнергетика / под ред. Д. де Рензо; пер. Я.И. Шефтер. -М.: Энергоатомиздат, 1982. -272 с.: ил.
- 2 Бородин, В.В. Создание наплавного блока ПЭС с ортогональной турбиной диаметра рабочего колеса 5 метров / В.В. Бородин, В.А. Железнов, А.А. Сивков // Малая энергетика. -2008. -№4. -С. 70-77.



- 3 Европривод [Электронный ресурс] / Кременкул. редуктор. 3-д. -Режим доступа: www.evoprivod.ru.  
 4 ГОСТ 5616-89. Генераторы и генераторы-двигатели электрические гидротурбинные. Общие технические условия.  
 5 Проектирование электрических машин / И.П. Копылов [и др.]; под ред. И.П. Копылова. -М.: Энергия, 1980. -495 с.  
 6 Кочергин, В.В. К расчёту индуктивности однозубцовой обмотки / В.В. Кочергин // Электротехника. -2009. -№9. -С. 61-63.  
 7 Сорокер, Т.Т. Многофазный асинхронный преобразователь. Поверочный расчёт. Т.3, вып.1. Вопросы расчёта электрических машин / Т.Т. Сорокер. -М., 1959. -112 с. -(Труды НБТЦ НИИ электропромышленности).  
 8 Шуйский, В.П. Расчёт электрических машин: пер. с нем. / В.П. Шуйский. -Л.: Энергия, 1968. -726 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *электрическая машина, число полюсов, число пазов на полюс и фазу, сопротивление рассеяния, дифференциальное рассеяние*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Князев Орест Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Солнцев Григорий Егорович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Смыков Юрий Николаевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Васильев Виктор Михайлович, старший научный сотрудник ОАО НПО «Элсиб»  
 Корнеев Константин Викторович, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела ОАО НПО «Элсиб»  
 Чирке Валерий Эрнстович, начальник отдела ОАО НПО «Элсиб»  
 Шарипов Азад Мухамеджанович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ОАО НПО «Элсиб»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 630088, г.Новосибирск, ул.Сибиряков-Гвардейцев, 56, ОАО НПО «Элсиб»*

## **ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИНДУКТИВНО-КОНДУКТИВНЫЙ НАГРЕВАТЕЛЬ**

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

**А.И. Елшин, С.С. Прудников**

**HIGH-VOLTAGE INDUCTIVE-CONDUCTIVE HEATER**  
**Novosibirsk state academy of water transport**  
 A.I. Elshin, S.S. Prudnikov

The article presents created the first time in the world practice inductive-conductive heater capacity of 630 kW for voltage 6/10 kV and given its technical and physical specifications. The problems application high-voltage inductive-conductive heater as load hydropower, nuclear power and other energy sources for heating dispersed settlements distant from Central heating and fuel sources are considered.

*Keywords: electric power, inductive-conductive heater, high-voltage*

Представлен созданный впервые в мировой практике индуктивно-кондуктивный нагреватель мощностью 630 кВт на напряжение 6/10 кВ и даны его технические и массогабаритные характеристики. Рассмотрены вопросы использования высоковольтного индуктивно-кондуктивного нагревателя в качестве нагрузки ГЭС, АЭС и других источников электроэнергии для теплоснабжения рассредоточенных поселений, удаленных от центрального теплоснабжения и источников топлива.

Впервые в мировой практике в июле 2013 г. под руководством профессора Елшина А.И., компанией ООО «Термотех» (г. Новосибирск) испытан опытно-промышленный образец индуктивно-кондуктивного нагревателя мощностью 630 кВт на напряжение 6/10 кВ для производства горячего жидкого теплоносителя. На рисунке показан внешний вид индуктивно-кондуктивного нагревателя.

Испытание полностью подтвердило расчетные массогабаритные и энергетические характеристики устройства:

- Мощность потребляемая, МВт ..... 0,63;
- Тепловая мощность, Гкал/ч ..... 0,53;
- Номинальное напряжение, кВ ..... 6/10;
- Частота тока, Гц ..... 50;
- Число фаз ..... 3;
- Класс электробезопасности ..... 2;
- Коэффициент мощности, ..... 0,97;
- Температура теплоносителя, °С ..... 150;
- Рабочее давление, МПа ..... 1,0;
- Габаритные размеры, мм ..... 1450×1700×600;
- Масса активных материалов, кг ..... 840.

Первый образец индуктивно-кондуктивного нагревателя на напряжение 0,4 кВ для отопления и горячего водоснабжения с высокими энергетическими характеристиками (КПД 97% и коэффициентом мощности 0,99) запатентован Елшиным А.И. в 1990 г., а производство ор-

ганизовано с 1991 г. в научно-внедренческом предприятии «Новая электрическая машина» (НЭЛМА). На предприятии «НЭЛМА» разработан и внедрен ряд типоразмеров нагревателей жидкости: 2,7; 4,0; 12,0; 18,0; 24,0; 48,0; 96, 144, 244 кВт на 0,4 кВ и проведена паспортная сертификация: ТУ 3468-001-23580336-96, ТУ 3468-002-23580336-96, сертификат соответствия №РОСС RU.МЕ24.В00941, №РОСС RU.МЕ24.В00941, гигиенический сертификат №1007 от 26 декабря 1995 г. и др.

В настоящее время индуктивно-кондуктивные нагреватели успешно эксплуатируются в промышленных зданиях, индивидуальных домах, коттеджах, спортивных лагерях, домах отдыха, сельскохозяйственных предприятиях Новосибирской, Свердловской, Кемеровской, Иркутской, Омской, Томской областей, Алтайского и Красноярского краев, Подмосковья. Двадцатилетний опыт эксплуатации свидетельствует о высокой эффективности, надежности и степени защиты от электропоражения устройств нагрева для электроотопления, горячего водоснабжения и технологических целей.

Применение высоковольтного индуктивно-кондуктивного нагревателя

значительно расширяет номенклатуру изделий в области создания передвижных автоматизированных тепловых пунктов для теплоснабжения:

- жилых много- и одноэтажных домов в аварийных ситуациях;
- вновь строящихся зданий при отделке помещений;
- спортивных городков во время проведения соревнований;
- медицинских объектов в при нарушении центрального теплоснабжения;
- временных карантинных медицинских пунктов;
- овощных и продуктовых рынков;
- гостиничных комплексов с повышенными требованиями к комфортности и гигиене при отключении горячей воды;
- летне-спортивных лагерей, детских лагерей, санаториев, профилакториев, домов отдыха;
- летних пунктов дойки коров, душевых и столовых.

Электроэнергетика России имеет надежные системы для производства (ТЭЦ, ГРЭС, ГЭС, АЭС) и канализации энергии практически в каждом субъекте Российской Федерации. Общая тенденция, прогнозируемая в современных условиях, состоит в снижении потребления электроэнергии в промышленных отраслях и его росте в коммунально-бытовом секторе и сфере малого предпринимательства. При этом суммарная доля ГЭС и АЭС составит около 30%, обеспечивая бездефицитность и удешевление электроснабжения, в том числе и для отопительных нужд не только в регионах с избыточной электроэнергией в связи с низкими потерями транспортировки. Исследования зарубежных специалистов свидетельствует, что при сроке службы 25 лет электроотопление экономичнее, чем нефтяное, и совпадает по уровню первоначальных затрат, годовой эксплуатации и стоимости энергоносителя с газовым. При этом расход энергии на транспорт электроэнергии и газа сопоставимы и составляют 5-9%.

Применение высоковольтных индуктивно-кондуктивных нагревателей в качестве нагрузки АЭС позволит создать надежную систему теплоснабжения населенных пунктов, для которых предназначены атомные тепловые электростанции (АТЭЦ). На АТЭЦ распространяются требования по обеспечению радиационной безопасности и созданию санитарно-защитной зоны и удалению от городов. В связи с этим возникает необходимость сооружения транзитных тепловых магистралей большой протяженности от АТЭЦ до населенного пункта. Для этих магистралей требуются значительные количества труб и крупные капиталовложения.

В АТЭЦ для исключения возможности попадания радиоактивных веществ в сетевую воду в случае возникновения неплотностей в поверхностях нагрева теплообменников и сете-



*Рисунок – Внешний вид нагревателя*

вых подогревателей создаются многоконтурные системы теплопередачи, что существенно усложняет систему генерации горячей воды, увеличивая ее капиталоемкость.

В 1978-1980 гг. в СССР проводились первоначальные технические и экономические исследования в направлении создания атомных станций промышленного теплоснабжения (АСПТ), предназначенных для подачи потребителям как горячей воды, так и пара разных параметров для технологических целей, что могло бы дополнительно расширить возможность замены органического топлива ядерным. Однако, неблагоприятные технические и экономические результаты не позволили решить вопрос о строительстве первых АСПТ. Альтернативой этому может стать использование высоковольтных индуктивно-кондуктивных нагревателей в качестве нагрузки АЭС для производства горячей воды и пара.

Теплообеспечение береговых населенных пунктов с низкой плотностью населения, в районах мерзлотных зон, горных местностей при энергоснабжении от плавучей АЭС наиболее эффективно с помощью прямого преобразования электрической энергии в тепло непосредственно в месте теплоснабжения. В качестве электрической нагрузки плавучих атомных электростанций, несомненно, должны использоваться высоконадежные высоковольтные индуктивно-кондуктивные нагреватели, отвечающие следующим требованиям.

1 Обеспечение защиты от поражения электрическим током по классу электробезопасности не ниже «2» и уровня напряжения прикосновения не выше 2 В.

2 Обеспечение надежных условий пожаробезопасности. Перегрев нагревательного элемента в рабочем режиме по отношению к теплоносителю не превышает 20-30%.

3 Обеспечение надежности и долговечности со сроком службы не менее 30 лет или 150000 ч.

4 Функциональное безразличие к типу теплоносителя и его физико-химическим свойствам и отсутствие влияния на компонентный состав теплоносителя.

Проблема рационального развития систем теплоснабжения требует все большего внимания в связи с тем, что наличие тепла – главное условие для производственной и социальной деятельности населения. Эта проблема приобретает еще большую остроту и актуальность при постоянной тенденции к удорожанию топлива и транспортировки энергии для рассредоточенных потребителей в экстремальных климатических условиях.

Это тем более актуально в условиях межсезонья при резкопеременных температурных режимах в течение суток, при которых объем теплоснабжения на горячее водоснабжение и отопление не достигает уровня номинальной загрузки ТЭЦ и котельных.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электрическая энергия, индуктивно-кондуктивный нагреватель, высокое напряжение  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Елшин Анатолий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГавТ»  
Прудников Сергей Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГавТ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавТ»

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)**

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

**А.И. Елшин, Н.К. Ефимов, Г.Е. Солнцев, В.В. Солодская**

### **PROSPECT EVOLUTION ELECTRICAL HEATING REPUBLIC SAKHA (YAKUTIA)**

Novosibirsk state academy of water transport  
A.I. Elshin, N.K. Efimov, G.E. Solntsev, V.V. Solodskaja

In the article questions electric power for heat supply settlements with scattered population of Sakha (Yakutia) in the most distant from gas producing regions are considered. Inductive-conductive heaters are produced ecologically clean warm with high parameters. The effectiveness of electric heating at abruptly variable temperature are submitted.

*Keywords: electric power, heat supply, inductive-conductive heater*

Рассмотрены вопросы использования электроэнергии для теплоснабжения рассредоточенных поселений Республики Саха (Якутия), удаленных от центрального газоснабжения. Индуктивно-кондуктивные нагреватели создают экологически чистое тепло с высокими характеристиками. Показана эффективность практического применения электроотопления при резкопеременных температурных режимах окружающей среды.

Ведомственная целевая программа «Перевод на электроотопление социальных, жилых и производственных объектов Вилюйской группы улусов Республики Саха (Якутия) на период 2011-2015 гг. с учетом перспективы газификации населенных пунктов» предусматривает перевод на электроотопление населенных пунктов, не попадающих в зону охвата газовых магистралей.

Так, согласно перспективной схеме газоснабжения и газификации Сунтарского района РС(Я), разработанной ОАО «Газпромромгаз», от Вилюйско-Джербинского газового месторождения должны быть газифицированы практически все населенные пункты района, за исключением летников. Однако, учитывая практическую сторону дела при реализации проекта, села Толоон, Ыгыатта, Тюбэй, Агдары и Туойдах, которые расположены за рекой Вилюй в стороне от магистрального газопровода, не подпадают под схему газификации Сунтарского района. В связи с этим администрация Сунтарского района просит включить в программу перевода на электроотопление указанные населенные пункты.

От Среднетюнского газоконденсатного месторождения предусматривается газификация населенных пунктов Верхневилуйского, Нюрбинского и части сел Вилюйского районов. Основная часть населенных пунктов Вилюйского района запитывается природным газом от Средневилуйского ГКМ.

В Нюрбинском районе за рекой Вилюй к магистральному газопроводу не подключаются села Кюндядя, Арангастах и Салтаны.

В Вилюйском районе под газификацию не подпадают села Староватово и Тосу, расположенные на другом берегу Вилюя в стороне от магистрального газопровода от Средневилуйского ГКМ и на очень значительном расстоянии от Среднетюнского ГКМ.

Первым этапом программы развития электроотопления населенных пунктов является перевод на электроотопление социальных и производственных объектов, отапливаемых от котельных ГУП «ЖКХ РС(Я)». Для этого в первую очередь необходимо произвести строительство и реконструкцию сетей внешнего электроснабжения, которое включает воздушные линии электропередач 0,4-10(6) кВ и трансформаторные подстанции КТП-10(6)/0,4 кВ.

При этом, стоимость строительства 1 км линии ВЛЗ-10 кВ составляет 1250 тыс. руб., а стоимость строительства линии ВЛИ-0,4 кВ и трансформаторной подстанции КТП-10/0,4 кВ – 2450 тыс. руб.

Авторы предлагают отказаться от низковольтной части системы отопления и использовать для электротеплоснабжения социальных и производственных объектов высоковольтные индуктивно-кондуктивные нагреватели мощностью от 100 кВА до 1000 кВА на напряжение 6/10 кВ. При этом сохраняются существующие тепловые системы зданий и ликвидируются внешние трубопроводы для транспорта теплоносителя. В июле 2013 г. изготовлен пилотный образец высоковольтного индуктивно-кондуктивного нагревателя мощностью 630 кВА на напряжение 6/10 кВ ООО «ТермоТех» г. Новосибирск.

Общеизвестно, что индуктивно-кондуктивные нагреватели отличаются высокой электро- и пожаробезопасностью, надежностью и долговечностью. Срок службы этих нагревателей определяется качеством изоляции и достигает 30 лет и более. Высоки и энергетические показатели – коэффициент мощности и КПД близки единице.

Рассмотрим эффективность электроотопления при резкопеременной температуре среды. Для анализа использованы данные метеосводки для Сунтарского улуса за март 2010 г. На рисунке 1 приведен график зависимости температуры окружающего воздуха. График относительной потребляемой тепловой нагрузки за март 2010 г. Сунтарского улуса Саха-Якутии представлен на рисунке 2.

Характеристика температуры в пределах суток отличается большими скачками между дневной и ночной фазами. Минимальное значение температуры в течение месяца равно (-44,2) °С, максимальное (+0,4) °С. Использование традиционной системы отопления приводит к значительному перерасходу топлива ввиду большой инерционности и практической невозможности гибкого регулирования подачи тепловой энергии в здания. При уставке тепловой нагрузки теплоснабжающей станции по минимальной температуре месяца  $T_{\min} = -42,2$  °С, коэффициент использования топлива непосредственно у потребителя составляет

$$\eta_t = \frac{1}{31} \sum_{t=1}^{31} \frac{T_v - T_t}{T_v - T_{\min}} = 0,623.$$

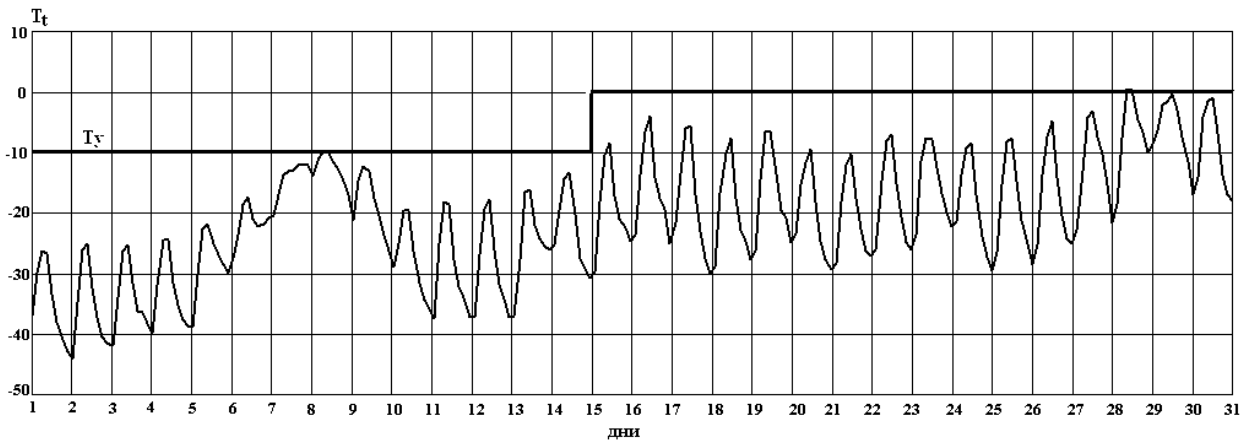


Рисунок 1 – График температуры Сунтарского улуса Саха-Якутии (март 2010 г.)

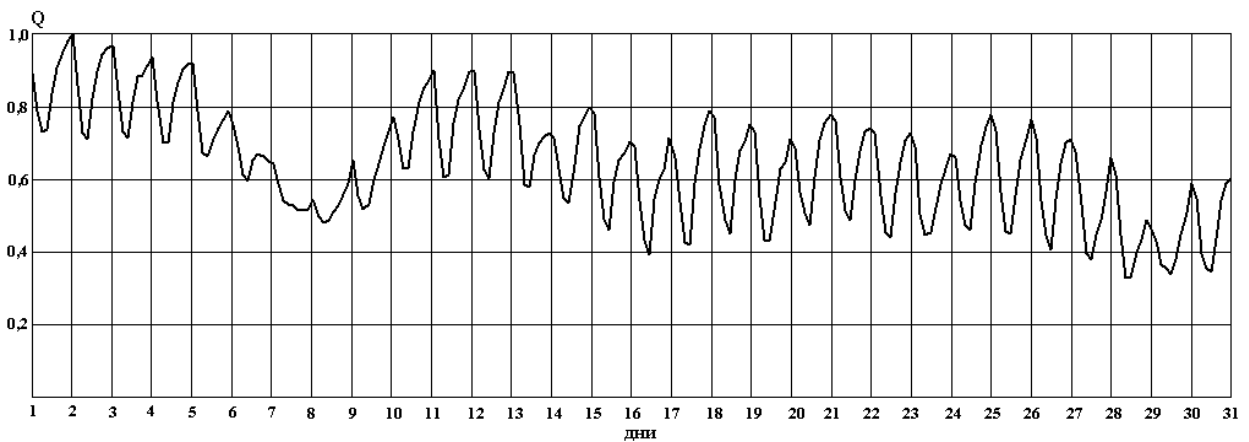


Рисунок 2 – График относительной потребляемой тепловой нагрузки Сунтарского улуса Саха-Якутии (март 2010 г.)

С учетом сопутствующих потерь тепла (в трубопроводах, теплоузлах и пр.) величина  $\eta_t$  может существенно понизиться. Коэффициент использования топлива можно привести к единице, если увеличить температуру, определяющую теплоотдачу станции. При этом недостающее тепло в пиковых режимах обеспечить с помощью электронагревателей дополнительного нагрева, мгновенно реагирующих на изменение климатической обстановки. На рисунке 3 представлена зависимость коэффициента использования топлива от величины уставки минимальной температуры  $T_\gamma$  для теплоснабжающей станции.

Но и в этом случае система отопления малоэффективна ввиду наличия «перетопов» при температуре окружающей среды выше температуры уставки. Эффективность теплоснабжения можно увеличить, если температуру уставки принять равной ожидаемой максимальной температуре внешнего воздуха на данном этапе отопительного сезона (неделя, декада, месяц), а недостающее тепло создать при помощи электронагревателя непосредственно в здании.

Например, в рассматриваемый период времени температуру уставки  $T_\gamma$  станции можно принять в течение 1-15 числа равную  $(-10)^\circ\text{C}$ , в последующие дни до конца месяца  $0^\circ\text{C}$

Удельные затраты тепловой энергии за этот период составят

$$Q_\tau = g_o 24 \{ [T_\gamma - (-10)] 15 + [T_\gamma - (0)] 16 \} = 0,043 \text{ Гкал/м}^2.$$

Расходы на тепловую энергию согласно тарифов ГУП «ЖКХ РС(Я)» в Сунтарском улусе

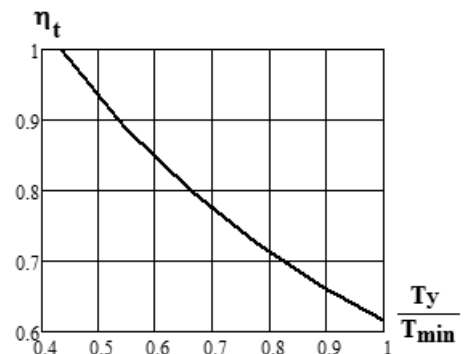


Рисунок 2 – Коэффициент использования топлива

на 2010 год для отопления жилфонда составят

$$C_T = C_T \cdot Q_T = 163,75 \text{ руб./м}^2,$$

где  $C_T = 3776 \text{ руб./Гкал}$ .

Удельные затраты электрической энергии на отопление определяются на основании климатической зависимости температуры и КПД, равном 0,95

$$Q_э = \frac{1}{0,95} g_o 24 \left\{ \sum_1^{15} [(-10) - T_t] + \sum_{15}^{31} [(0) - T_t] \right\} = 32 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)/м}^2.$$

Расходы на электрическую энергию согласно тарифов ГУП «ЖКХ РС(Я)» в Сунтарском улусе на 2010 год для электроотопления

$$C_э = C_э \cdot Q_э = 43,24 \text{ руб./м}^2,$$

где  $C_э = 1,35 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$ .

Удельная тепловая энергия, созданная электроотоплением, равна

$$Q_{ТЭ} = Q_э \cdot 860 \cdot 10^{-6} \cdot 0,95 = 0,026 \text{ Гкал/м}^2.$$

где  $860 \cdot 10^{-6}$  – тепловой эквивалент 1 Гкал/(кВт·ч).

Общая тепловая энергия, реализуемая в данной системе отопления, равна

$$Q_{ТО} = Q_T + Q_{ТЭ} = 0,069 \text{ Гкал/м}^2.$$

Общие затраты на теплоснабжение составят 207 руб./м<sup>2</sup>.

Сравнительный анализ показывает, что расходы на отопление зданий по традиционной схеме существенно выше.

Удельные затраты тепловой энергии за этот период составят

$$Q_T = g_o 24 [T_v - (-44,2)] \cdot 31 = 0,112 \text{ Гкал/м}^2.$$

Расходы на тепловую энергию

$$C_T = C_T \cdot Q_T = 423,22 \text{ руб/м}^2,$$

что в два раза больше, чем в предлагаемом варианте.

При резкопеременной характеристике температуры в пределах суток (особенно в межсезонье) использование традиционной системы отопления приводит к значительному перерасходу топлива ввиду большой инерционности и практической невозможности гибкого регулирования подачи тепловой энергии в здания. Установка дополнительного электрообогрева для компенсации недостающего тепла в пиковых режимах позволяет практически в два раза сократить затраты на создание комфортных условий проживания человека. Эквивалент стоимости теплоснабжения возникает только при цене на электроэнергию 8,1 руб/(кВт·ч).

Нетрудно оценить полную замену традиционного теплоснабжения электроотоплением. В рассматриваемом варианте стоимость электроотопления составит 113 руб/м<sup>2</sup>, что в 3,75 раза меньше, чем в традиционных схемах теплоснабжения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электрическая энергия, теплоснабжение, индуктивно-кондуктивный нагреватель

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Елшин Анатолий Иванович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Ефимов Николай Константинович, соискатель ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Солнцев Григорий Егорович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Солодская Валентина Владимировна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

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

## **МЕТОДИКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 10-0,4 кВ**

Рубцовский индустриальный институт, филиал ФГБОУ ВПО  
«Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»

**Н.И. Черкасова**

**METHODS OF MULTICRITERION ESTIMATION OF EFFICIENCY OF RURAL ELECTRIC NETWORKS 10-0,4 kV**

Rubtsovsky industrial institute, branch Altai state technical university named I.I. Polzunova  
N.I. Cherkasova

The main factors of rural networks upon which is built the causal diagram; using the features of desirability factors formalized. Based on multi-objective fuzzy set theory developed the technique for evaluating the performance of rural networks.

*Keywords: rural network, performance, loss rate, power quality, reliability and electrical safety*

Определены основные факторы эффективной работы сельских сетей, на основе которых построена причинно-следственная диаграмма, с использованием функций желательности факторы формализованы. На основе теории нечетких множеств разработана многокритериальная методика оценки эффективности функционирования сельских сетей.

Ввиду того, что сельские электрические сети (СЭС) функционируют в условиях неопределенной и недостаточной информации оценку эффективности функционирования СЭС можно производить с привлечением аппарата теории нечетких множеств.

Многокритериальная оценка эффективности основных решений проектирования или мероприятий эксплуатации электрических сетей может происходить путем определения значений соответствующих показателей эффективности  $Q_i$  [1]. Эти показатели определяются следующим образом:  $Q_i = 5$ , если требования к  $i$ -му фактору выполнены очень хорошо;  $Q_i$  может принимать значения 4, 3, 2 и 1, если требования к  $i$ -му фактору выполнены хорошо; удовлетворительно; недостаточно; неудовлетворительно, соответственно.

Выбор наилучшего варианта решения производится простым суммированием оценок, либо берется взвешенная сумма. Весовой коэффициент  $G_i$  может принимать значение от 0 до 1.

Из всех критериев эффективности СЭС отберем совокупность наиболее существенных факторов: надежность электроснабжения, уровень потерь электроэнергии, компенсацию реактивной мощности, качество электроэнергии и электробезопасность.

Будем считать их факторами первого порядка.

Для каждого первостепенного фактора далее выделим факторы второго порядка, определяющим образом влияющие на факторы первого порядка:

- для надежности: остаточный ресурс срока службы;
- для уровня потерь: экономическое сечение и учет электроэнергии;
- для компенсации реактивной мощности: величина компенсирующего устройства (КУ) и место подключения КУ;
- для качества электроэнергии: отклонение напряжения, несимметрия и несинусоидальность напряжения;
- для электробезопасности: защитное заземление.

В соответствии с обозначенными факторами построим причинно-следственную диаграмму (рисунок 1) для выявления взаимосвязи основных и второстепенных факторов, и их воздействия на конечный результат.



Рисунок 1 – Причинно-следственная диаграмма

Математическую формализацию факторов проведем с использованием функций желательности Харрингтона. Функции желательности изменяются от нуля в областях недопустимых (нежелательных) значений показателя до максимального значения, равного единице, в областях наиболее предпочтительных его значений.

Рассмотрим формализованное описание показателя для фактора «Экономическое сечение» провода. При плановой экономике в практике массового проектирования линий электропередач выбор сечения проводников производился по величине экономической плотности тока  $j_{экон}$ , нормированные значения которой приводились в ПУЭ. На сегодняшний день расчетная величина экономической плотности тока для разных ОАО «Энерго» различна и меньше рекомендованной ранее в ПУЭ величины на 27-45% [2]. Сегодня, с учетом изменения цен на цветные металлы, на электроэнергию, с учетом инфляции и способа инвестирования желательно иметь для региона ОАО «Алтайэнерго» экономическую плотность тока для линий 10 кВ, в пределах 0,6-0,8 А/мм<sup>2</sup>. С учетом этого функция желательности конструируется в форме, представленной на рисунке 2а.

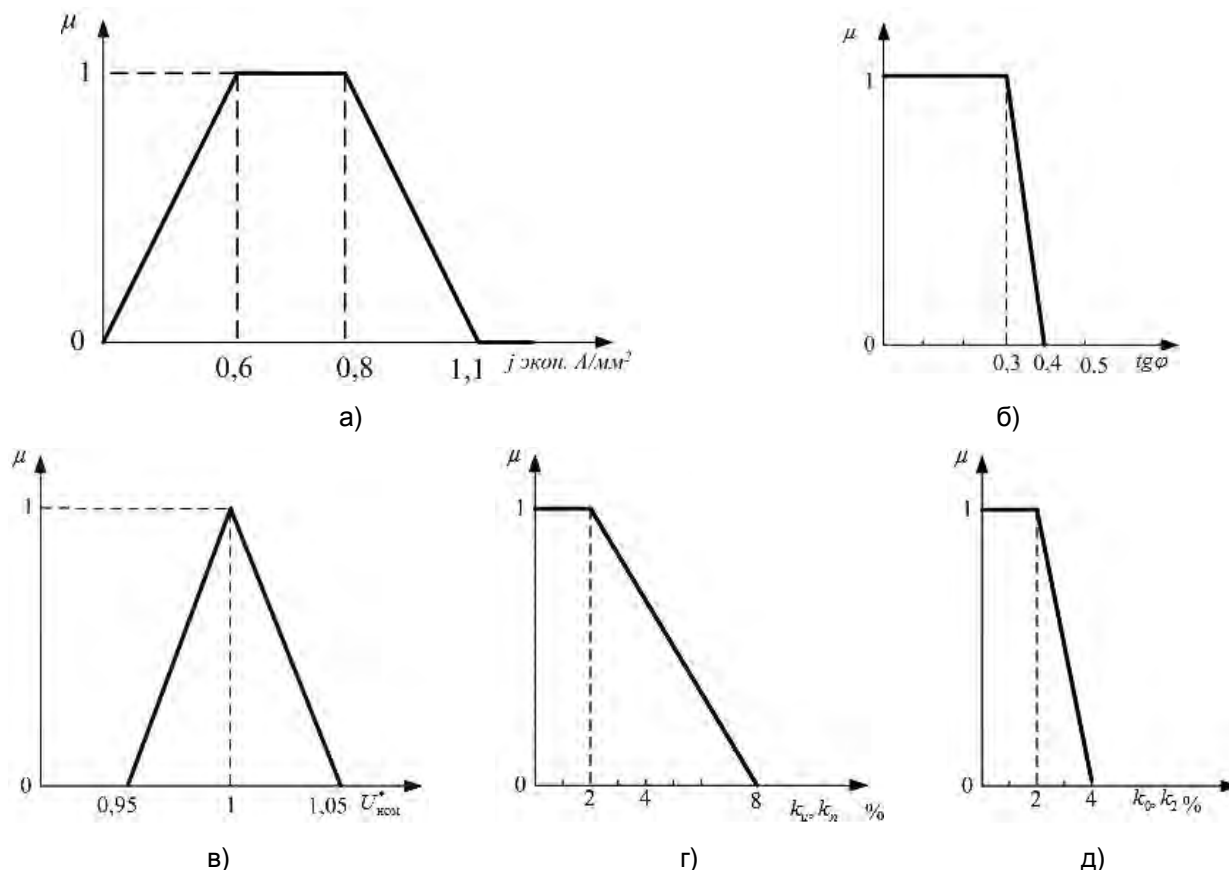


Рисунок 2 – Функции желательности для различных факторов

Для фактора «Учет электроэнергии» функция желательности сконструирована на основе четырех опорных точек:

- 1-замена измерительных трансформаторов на трансформаторы с повышенными классами точности и номинальными параметрами, соответствующими фактическим нагрузкам;
- 2-замена существующих приборов учета на новые приборы с улучшенными характеристиками;
- 3-мероприятия опорных точек 1 и 2 совместно;
- 4-установка на подстанциях автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).

Опорные точки «учета электроэнергии» перечислены в порядке возрастания финансовых расходов на указанные мероприятия и, соответственно, снижения величины погрешности учета с каждым мероприятием.

Здесь информация носит дискретный характер, поэтому функция желательности  $\mu$  для «Учета электроэнергии» представлена в виде таблицы 1, где указана функция желательности для этого критерия.

Таблица 1 – Функция желательности  $\mu$  для «Учета электроэнергии»

Мероприятия по повышению учета электроэнергии (опорные точки)	1	2	3	4
Значения $\mu$	0,6	0,7	0,9	1,0



Для оптимизации режима реактивной мощности, нормализации напряжения и снижения уровня потерь электроэнергии в сетях производят компенсацию реактивной мощности. Для фактора «Величина КУ» значение мощности компенсирующих устройств зададим через  $\operatorname{tg}\varphi$ . Известно, что при совместном рассмотрении сетей 6-110 кВ практически всегда компенсирующие устройства целесообразно устанавливать в сети 6-10 кВ, для которых  $\operatorname{tg}\varphi$  задается значением не более 0,4.

Для низковольтной сети (0,4 кВ) величина  $\operatorname{tg}\varphi$  задается значением не более 0,35. Исходя из этого функция желательности для фактора «Величина КУ» построена в следующем виде, рисунке 2б.

Выбор мест установки КУ производят принимая во внимание следующие соображения. С учетом экономической целесообразности установку мощности КУ следует производить в следующем порядке: 30% – в сети 10 кВ и 70% – в сети 0,4 кВ [3]. Однако в рыночных условиях невозможно обязать одного собственника сетей производить затраты на КУ из условия, что это является оптимальным решением с точки зрения суммарных потерь в его сетях и сетях энергоснабжающей компании. Поэтому в настоящее время требования к месту установки КУ не нормированы, при установке КУ следует учитывать рекомендации приведенные в работе[3].

Далее рассмотрим формализованное описание показателя для фактора «Отклонение напряжения». Отклонение напряжения нормируется только на вводах электроприемников, фактически только в сетях 0,4 кВ, и в некоторых точках сетей 6-10 кВ. Нормально допустимые отклонения напряжения равны  $\pm 5\%$  от номинального напряжения сети (ГОСТ Р 54149-2010). С учетом этого функция желательности представлена в форме на рисунке 2в.

Несинусоидальность напряжения характеризуется двумя показателями: это коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $k_U$ ; и коэффициент  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения  $k_n$ . Допустимые значения нормируются (ГОСТ Р 54149-2010) и для сетей напряжением 0,4 кВ не должны превышать 8%. Функция желательности для фактора «Несинусоидальность напряжения» представлена на рисунке 2г.

Фактор «Несимметрия напряжения» характеризуется двумя показателями: это коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $k_2$  и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $k_0$ . Нормально допустимые и предельно допустимые значения обоих коэффициентов равны соответственно 2,0% и 4,0%. Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности имеет смысл только для четырехпроводных электрических сетей 0,4 кВ. Функция желательности для фактора «Несимметрия напряжения» представлена на рисунке 2д.

В рассматриваемой методике ранжирование факторов второго порядка проводится на основе определения рангов частных критериев с точки зрения их вклада в показатель, который формируется на более высоком уровне причинно-следственной диаграммы [1]. Например, показатель качества первого уровня «Качество электрической энергии» определяется частными критериями факторов второго уровня «Отклонение напряжения», «Несимметрия напряжения», «Несинусоидальность напряжения», каждый из которых вносит разный вклад в формирование показателя «Качество электрической энергии».

Далее проводится попарное сравнение важности факторов первого и второго уровней (см. рисунок 1) между собой и заполняются матрицы парных сравнений. Результаты сравнений приведены в таблице 2-4. В последних колонках таблиц приведены значения рангов (критериев относительной важности), полученные в результате расчетов, проведенных согласно методики [4].

*Таблица 2 – Матрица парных сравнений и ранги факторов второго уровня, входящих в критерий «Качество электрической энергии»*

	Режим напряжения	Несимметрия напряжения	Несинусоидальность напряжения	Ранг
Режим напряжения	1	3	5	1,986
Несимметрия напряжения	1/3	1	1/5	0,709
Несинусоидальность напряжения	1/5	5	1	0,305

Фактор «Надежность электроснабжения» задается остаточным ресурсом, который определяется согласно методике приведенной в работе [5] и принимает значение от 0 до 1.

Таблица 3 – Матрица парных сравнений и ранги факторов, входящих в критерий «Компенсация реактивной мощности»

	Величина КУ	Место подключения КУ	Ранг
Место подключения КУ	1	1/5	0,311
Величина КУ	5	1	1,689

Таблица 4 – Матрица парных сравнений и ранги факторов, входящих в «Уровень потерь электроэнергии»

	Экономическое сечение	Учет электроэнергии	Ранг
Экономическое сечение	1	3	1,497
Учет электроэнергии	1/3	1	0,503

Мероприятия по обеспечению электробезопасности можно определить через один главный критерий, например, защитное заземление, которое выразим через сопротивление  $R_{зз}$ . Сопротивление защитного заземления для сетей 10/0,4 кВ не должно превышать величины равной 4 Ом. Исходя из этого функция желательности может быть представлена (рисунок 3)

$$\mu(R_{зз}) = \begin{cases} 0, R_{зз} > 0,4 \text{ Ом}; \\ 1, R_{зз} \leq 0,4 \text{ Ом}. \end{cases}$$

Далее, аналогичным образом была построена матрица парных сравнений для основных факторов первого уровня и были рассчитаны их ранги. Эти данные приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Матрица парных сравнений факторов первого уровня и ранги основных критериев эффективного функционирования сетей

	Уровень потерь электроэнергии	Качество электрической энергии	Электробезопасность	Надежность	Компенсация реактивной мощности	Ранги
Уровень потерь электроэнергии	1	3	7	1/3	1/4	0,652
Качество электрической энергии	1/3	1	3	1/5	1/5	0,371
Электробезопасность	1/7	1/3	1	1/4	1/5	0,277
Надежность	3	5	4	1	1/3	1,102
Компенсация реактивной мощности	4	3	5	3	1	2,598

На последнем этапе проводится (с учетом найденных рангов) свертывание частных критериев первого и второго уровня в единый глобальный критерий [1], характеризующий эффективность функционирования сетей.

Вывод. Разработана методика определения эффективности функционирования распределительных сетей 10-0,4 кВ, которая заключается в следующем: сформирована причинно-следственная диаграмма, включающая основные и второстепенные факторы (критерии), определяющие условия эффективного функционирования сетей. На базе этой диаграммы по оценкам экспертов производится ранжирование частных критериев второго, а затем первого уровня. Далее производится попарное сравнение важности факторов первого и второго уровней, и заполняются матрицы парных сравнений, в результате чего получаем значения рангов рассматриваемых частных критериев. С учетом найденных рангов производится свертывание частных критериев в единый глобальный критерий, который будет характеризовать эффективность функционирования сетей 10-0,4 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дилигенский, Н.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология / Н.В. Дилигенский, Л.Г. Дымова, В.П. Севастьянов. -М.: Машиностроение, 2004.

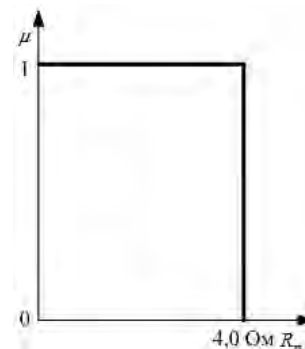


Рисунок 3 – Функции желательности для фактора «Защитное заземление»

- 2 Черкасова, Н.И. Моделирование, анализ и оптимизация потерь в распределительных электрических сетях 10-0,4 кВ: монография / Н.И. Черкасова. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. -96 с.
- 3 Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: рук. для практ. расчетов / Ю.С. Железко. -М.: ЭНАС, 2009. -456 с.
- 4 Черкасова, Н.И. Ранжирование частных критериев в условиях неопределенности в задачах принятия решений. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии / Н.И. Черкасова // Ползунов. вестн. / АлтГТУ. -2013. -№4. -С. 59-63.
- 5 Черкасова, Н.И. Способ диагностики электропроводок зданий / Н.И. Черкасова // Вестн. КрасГАУ. -2012. -1/2.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *сельские сети, эффективность функционирования, уровень потерь, качество электроэнергии, надежность, электробезопасность*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Черкасова Нина Ильинична, канд. техн. наук, доцент РИИ, филиал ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *652807, г.Рубцовск, ул.Тракторная, 2/6, РИИ, филиал ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СОПРЯЖЕНИЯ КОНФОРМНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ПРИ РАСЧЁТЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**

**О.П. Муравлёв, Р.П. Клубуков**

### **THE CALCULATION HIGH-SPEED CONVERTER-FED MOTOR MAGNETIC FIELD BY INTERFACE CONFORMAL MAPPINGS METHOD**

National research Tomsk polytechnic university

O.P. Muravlev, R.P. Klabukov

There is the problem of solving magnetic field of high-speed converter-fed motor in the article. The foundation calculate magnetic field high-speed converter fed motor is given. The results of calculations magnetic losses of stator core is given.

*Keywords: converted-fed motor, magnetic field, fast acting, the pitchless winding*

Поставлена задача расчёта магнитного поля быстродействующего вентильного двигателя. Приведено обоснование применения метода сопряжения конформных отображений при расчёте магнитного поля двигателя. Представлен результат расчёта магнитных потерь статорного сердечника.

Электрический привод с вентильным электродвигателем с возбуждением от постоянных магнитов (ВДПМ) является на сегодня одним из самых перспективных приводов. Это объясняется не только его высокой перегрузочной способностью, благодаря использованию редкоземельным магнитам, но также и другими преимуществами: большой гибкостью и многофункциональностью, возможностью построения быстродействующих систем управления, хорошими регулировочными свойствами, разнообразием конструкций и схем, бесконтактностью, возможностью работы в тяжёлых условиях эксплуатации, большим сроком службы и высокой надёжностью. Применение подобных двигателей позволяет создать быстродействующие электроприводы, обеспечивающие повышение производительности и точности специальных устройств, главным образом следящих систем.

Целью данной работы является расчёт магнитного поля быстродействующего вентильного двигателя с постоянными магнитами методом сопряжения конформных отображений для электропривода радиолокационных устройств.

Требование максимального быстродействия устройств автоматики обусловило необходимость разработки исполнительных двигателей с малым моментом инерции вращающихся частей. Для этого электрическая машина заданной мощности проектируется с максимально допустимой по механической устойчивости длиной якоря при минимальном его диаметре [1].

При проектировании быстродействующих систем важнейшим показателем качества является время отработки управляющего воздействия. В этом смысле проектирование ВДПМ на максимум быстродействия эквивалентно проектированию двигателя с минимально возможным значением электромеханической постоянной времени, достигаемым при затратах единицы потребляемой мощности в единице массы [2].

На быстродействие ВДПМ значительное влияние оказывает так же и конструктивное исполнение статора – пазовое или беспазовое. ВДПМ с беспазовым статором обладают рядом достоинств:

- технологичность беззубцового пакета статора;

– отсутствие зубцовых пульсаций магнитного потока и вызванных им пульсаций момента, более высокая плавность хода и глубина регулирования;

– снижение индуктивного сопротивления обмотки за счёт отсутствия индуктивности от потоков пазового рассеяния, а также снижение электромагнитной постоянной времени  $T_e$  в 1,5-3 раза;

– оптимальное использование свойств высококоэрцитивных постоянных магнитов за счёт увеличения эквивалентного немагнитного зазора.

ВДПМ с пазовой обмоткой статора имеют сравнительно большой уровень (до  $0,1M_n$ ) остаточного электромагнитного момента реактивного происхождения. Этот недостаток затрудняет их использование в высокоточных электроприводах различных РЛУ. Зубчатость сердечника статора вызывает, кроме того, пульсации магнитной индукции на холостом ходу в массиве постоянных магнитов, что является причиной их недопустимого нагрева. Средство борьбы с этим недостатком – разбиение магнита по длине на отдельные участки. Следует отметить, что при отсутствии зубцов статора диаметр ротора может возрасти, что приведёт при прочих равных условиях к увеличению электромагнитного момента, не будет и повышенных магнитных потерь в зубцах, что позволит увеличить номинальный ток двигателя. Обеспечение необходимого потока в воздушном зазоре требует увеличения объёма магнитов и приводит к увеличению момента инерции ротора и ухудшению динамических характеристик. Беспазовая обмотка, расположенная в воздушном зазоре в зоне максимальных индукций, требует разделения провода на элементарные проводники с целью уменьшения дополнительных потерь в меди от вихревых токов.

Для обоснованного выбора расхода (толщины) магнитного сплава, допустимого тока кратковременной перегрузки ВДПМ (по условиям отсутствия необратимого размагничивания магнитов), оценки уровня насыщения отдельных элементов магнитных сердечников, характера пульсаций электромагнитного момента необходим уточнённый расчёт магнитного поля вентильного двигателя (ВД) на интервале пространственного периода.

Проектируемый ВДПМ имеет сравнительно большую активную длину, поэтому математически моделировать его функциональные свойства можно с достаточной точностью на основе решения плоской полевой задачи методом сопряжения конформных отображений [3].

Системы с постоянными магнитами могут рассчитываться с помощью метода Фурье, интегральных уравнений, конечных элементов. В статье используется метод расчёта плоскопараллельных магнитных полей (МП) в нелинейных средах, состоящих из следующих этапов:

– разбиение исходной области с МП на совокупность кусочно-однородных элементарных областей канонической формы;

– конформное отображении верхней полуплоскости на указанные элементарные области;

– использовании интегральных уравнений для комплексной потенциальной функции верхней полуплоскости.

Для плоской области, содержащей магнитно-неоднородную среду, известны источники потенциального МП – это заданное распределение внутри её и на границе скалярного магнитного потенциала (СМП) и магнитных зарядов. Выделяем в области однородные участки, магнитные проницаемости которых неизменны (например, участки воздушные и участки, занятые немагнитными проводниками с током). Остальную часть области с магнитно-нелинейной средой разобьём на элементарные участки (ЭУ) треугольной или четырёхугольной формы, в пределах которых полагаем магнитную проницаемость и остаточную намагниченность среды одинаковыми. Прямолинейные границы ЭУ разделим на  $N$  равных интервалов, СМП которых аппроксимируем линейными или кусочно-постоянными зависимостями [3].

В качестве базового образца был принят двигатель с исходными данными: число полюсов  $2p = 8$ , число фаз  $m = 3$ , число пазов  $z_1 = 12$ , напряжение питания постоянного тока  $U_1 = 220$  В.

На рисунке 1 расчётная область ВДПМ мощностью 35 Вт представлена половиной круга, являющейся периодом для магнитного поля, которая разбита на 54 ЭУ.

Участки 1-3 относятся к ярму статора, который выполнен из холоднокатаной изотропной электротехнической стали 2412. Участки 4-21 соответствуют токовому слою беспазовой петлевой двухслойной трёхфазной обмотки; ЭУ 22-30 соответствуют воздушному зазору;

ЭУ 31-48 относятся к бандажному стакану ротора; ЭУ 50, 52, 54 являются поперечными сечениями магнитов неодим-бор, имеющих  $B_r = 1,1$  Тл;  $H_{св} = 750$  кА/м;  $k_\alpha = 0,1$  (коэффициент восприимчивости по оси намагничивания  $\alpha$ ); ЭУ 51, 53 – межполюсные окна; ЭУ 49 – поперечное сечение ярма ротора и вала.

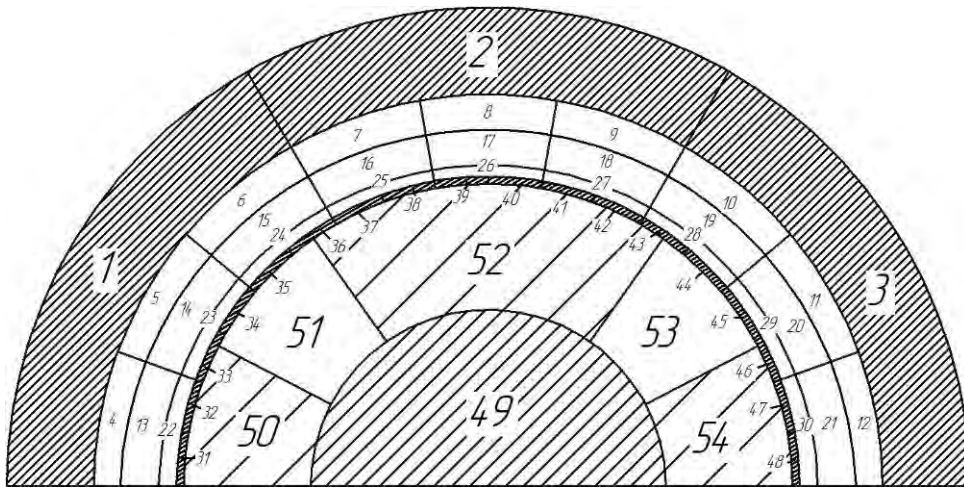


Рисунок 1 – Внутренняя расчётная область ВДПМ

Из рисунка 1 видно, что нижняя граница участка 22 проходит по нижнему краю воздушного зазора; максимум индукции на соответствующей этому участку кривой составляет примерно 0,6 Тл.

Для расчёта тепловых потерь в магнитах, бандаже ротора и сердечнике статора расчётная область двигателя была дополнена и разбита уже на 88 ЭУ. Для нахождения тепловых потерь в различных элементах конструкции ВДПМ были введены в рассмотрение виртуальные элементарные контуры (ЭК) [4]. Так, виртуальные ЭК шихтованного статорного сердечника позволяли определить магнитные потери от вихревых токов, замыкающихся поперёк шихтовки. Аналогично разбивался и фрагмент бандаж. Плотность тока и магнитная проницаемость каждого ЭУ принимались равномерными. В результате были получены расчётные кривые мгновенных средних значений нормальной и тангенциальной составляющих магнитной индукции в ЭУ шихтованного статорного сердечника в режиме номинальной нагрузки. Разложение этих кривых в ряд Фурье на гармонические составляющие приведено в таблице.

Таблица – Разложение на гармонические составляющие расчётных кривых статорного сердечника ВДПМ

Номер гармоники	Амплитуда			
	Нормальной составляющей индукции в верхнем слое (ЭУ 1, 2, 3,...)	Тангенциальной составляющей индукции в верхнем слое (ЭУ 1, 2, 3,...)	Нормальной составляющей индукции в нижнем слое (ЭУ 56, 59, 62,...)	Тангенциальной составляющей индукции в нижнем слое (ЭУ 56, 59, 62,...)
1	1,5395e-0001	1,5687e-0001	4,6379e-0001	1,7678e-0001
2	6,7421e-0004	1,7660e-0003	8,3180e-0004	5,3488e-0004
3	4,9061e-0004	2,9051e-0003	1,3109e-0002	2,7672e-0002
4	4,1145e-0003	9,4310e-0004	2,1628e-0004	2,5690e-0003
5	4,1445e-0003	8,8976e-0003	2,6355e-0003	1,4391e-0003
6	5,8844e-0004	9,9813e-0004	8,4493e-0004	2,5557e-0003
7	9,4030e-0004	1,9649e-0003	1,7368e-0003	4,3325e-0003
8	8,2240e-0005	1,7770e-0003	2,8510e-0004	2,5638e-0003
9	8,4280e-0005	2,5037e-0002	7,2803e-0004	6,1289e-0003
10	6,5428e-0004	7,8654e-0004	9,1248e-0004	2,3398e-0003
11	1,6813e-0003	4,5653e-0003	1,7314e-0003	3,7773e-0003

Преобладающее действие первой гармоники позволяет достаточно точно определить по ней магнитные потери в статорном сердечнике.

Магнитные потери (на перемагничивание и гистерезис) в шихтованном статорном сердечнике от каждой из гармоник в отдельности, находятся по формуле

$$P = p_{1/400} B^2 \left( \frac{f}{400} \right)^{1,3} G \alpha, \text{ Вт,}$$

- где  $B$  – амплитуда соответствующей гармоники магнитной индукции, Тл;  
 $f$  – частота изменения магнитного потока, Гц;  
 $p_{1/400}$  – удельные потери в электротехнической стали 1512 (Э44) толщиной 0,2 мм при  $B = 1$  Тл и  $f = 400$  Гц, равная  $p_{1/400} = 12,5$  Вт/кг;  
 $G$  – масса шихтованного стального массива, кг;  
 $\alpha$  – коэффициент, учитывающий технологические факторы (наклёп, заусеницы и др.), неравномерность магнитной индукции, равный  $\alpha = 1,2$ .

По результатам расчёта потери от высших гармоник индукции составляют менее 0,8% потерь от первой гармоники [4].

Суммарные тепловые потери на перемагничивание и гистерезис в шихтованном статорном сердечнике от всех гармоник индукции магнитного поля составили 0,752 Вт.

В заключении можно сделать следующие выводы:

1 Приведено обоснование выбора метода сопряжения конформных отображений для расчёта магнитного поля быстродействующего ВДПМ.

2 Использование беспазовой обмотки на статоре приводит к снижению зубцовых пульсаций магнитного потока, а следовательно и пульсаций момента на валу, что позволит добиться более высокой плавности работы ВДПМ.

3 Проведён расчёт магнитной индукции в ЭУ шихтованного статорного сердечника в режиме номинальной нагрузки, что позволяет анализировать распределения магнитного поля в воздушном зазоре и сердечниках ВДПМ для выбора более оптимальной магнитной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Магнитное поле и ЭДС малоинерционных магнитоэлектрических машин / Е.Г. Коков, А.С. Жибинов, Э.Р. Гейнц, Г.С. Цехмestрюк // Изв. Том. политехн. ун-та. -2012. -Т.320, №4. -С. 158-162.
- 2 Каган, В.Г. Электроприводы с предельным быстродействием для систем воспроизведения движений / В.Г. Каган. -М.: Энергия, 1975. -240 с.
- 3 Афанасьев, А.А. Расчёт магнитного поля магнитоэлектрического вентильного двигателя методом сопряжения конформных отображений / А.А. Афанасьев, А.Н. Воробьёв // Электричество. -1994. -№1. -С. 40-49.
- 4 Малоинерционный высокоскоростной магнитоэлектрический беспазовый вентильный двигатель / А.А. Афанасьев и [др.] // Электричество. -2007. -№4. -С. 28-35.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *вентильный двигатель, магнитное поле, быстродействие, беспазовая обмотка*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Муравлёв Олег Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

*Клабуков Роман Петрович, аспирант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ**

**ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»**

**А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, И.И. Костина**

**TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF ELECTRICAL SYSTEMS WITH THE USE OF TEMPORAL REDUNDANCY**

**Lipetsk state technical university**

**A.N. Shpiganovich, A.A. Shpiganovich, I.I. Kostina**

The possibility of the use of temporal redundancy completely to improve reliability of electricity system.

*Keywords: electricity system, temporal redundancy, equipment failure, reliability*

Рассматривается возможность применения временной избыточности для повышения безотказности системы электроснабжения.

При создании и эксплуатации любой технической системы обеспечение надежности является одной из важнейших проблем. Она является особенно актуальной для сложных систем, состоящих из большого числа элементов со значительными внутренними и внешними связями. Все сложные системы, в том числе и электроснабжения, являются многоуровневыми. Они подчиняются одним и тем же законам распределения. В то же время каждая сис-

тема индивидуальна. Решение задачи обеспечения надежности каждой из систем электроснабжения содержит комплекс технических и экономических мероприятий, направленных на сокращения ущерба от перерывов в электроснабжении, вызывающих нарушения нормального режима работы потребителей.

Повышение функционирования систем электроснабжения осуществляется посредством использования различных видов избыточностей: структурной, временной и информационной. В случае отказа отдельных единиц оборудования переход на резервное может осуществляться как рабочим персоналом, так и автоматически. Во втором случае применяется структурная и временная избыточности. Эти избыточности являются взаимосвязанными, а при определенных условиях они могут переходить одна в другую. С помощью использования информационной избыточности осуществляется управление перехода структурной избыточности во временную и обратно. Применение информационной избыточности способствует расширению возможностей структурной и временной избыточности и тем самым повышается безотказность в системах электроснабжения. Такое сочетание избыточностей может применяться в любых ситуациях и распространяться как на отдельное электрооборудование системы, так и на его группу. Информационная избыточность позволяет управлять процессом влияния временного и структурного резервирования на эффективность функционирования системы. При этом появляется возможность выполнить заранее запланированное ремонтно-профилактическое обслуживание оборудования до возникновения отказа [1].

Оценка вынужденных остановок приемников осуществляется относительно надежности электрооборудования уровневой системы электроснабжения. Однако необходимым является и проведение их технико-экономической оценки. Это связано с большими материальными убытками, возникающими в случае нарушения или прекращения технологического процесса вследствие возникновения отказов электрооборудования в системе. Такая оценка позволяет определить на каком уровне системы следует использовать избыточности [2].

Рассмотрим подробнее временную избыточность. Временное резервирование позволяет при отказе отдельной единицы электрооборудования продолжать безотказную работу в течение некоторого времени  $\delta$ . В системах электроснабжения данный вид избыточности в основном обеспечивают резервные источники питания. Когда применяется временное резервирование в системе электроснабжения, то значение  $\delta$  устанавливается по длительности работы резервного источника питания. Независимо от системы, где имеется источник временной избыточности, в общем случае, вероятность отказа оборудования определится выражением

$$\bar{P}_{ep}(\theta > \delta) = \bar{P} \int_{\delta}^{\infty} \beta(\theta) d\theta, \quad (1)$$

где  $\bar{P}$  – средняя вероятность отказа электрооборудования;  
 $\theta$  – время восстановления отказа;  
 $\delta$  – время безотказной работы;  
 $\beta(\theta)$  – функция распределения отказов электрооборудования.

Закон распределения длительности перехода на резервное оборудование зависит от типа предприятия [3]. Если оно является передовым, то закон распределения подчиняется экспоненциальной зависимости. В противном случае это будет логарифмически-нормальный или усечено нормальный закон распределения. Замена электрооборудования более надежным приводит к увеличению коэффициента машинного времени технологических машин  $K_{cm}$ . В результате уменьшается частота вынужденных перерывов в производственном процессе, что приводит к возрастанию нагрузки на машины. Сменный коэффициент машинного времени рабочей машины в общем случае имеет вид

$$K_{cm} = \left[ \frac{1}{K_{1T}} + \alpha \left( \frac{1}{K_{2T}} - 1 \right) + K_{cs} \left( \frac{1}{P_{cs}} - 1 \right) + \sum_{i=1}^n K_i \left( \frac{1}{P_i} - 1 \right) \right]^{-1}, \quad (2)$$

где  $K_{1T}, K_{2T}$  – коэффициенты готовности по группа последовательных и параллельных перерывов без учета вероятности работы рассматриваемой подсистемы;  
 $\alpha$  – расчетный коэффициент;  
 $P_{cs}$  – вероятность работы подсистемы электроснабжения без учета электрооборудования, подлежащего замене;  
 $P_i$  – вероятность работы  $i$ -ой единицы оборудования, подлежащей замене;

$n$  – число единиц электрооборудования, подвергшихся замене на более надежное;  
 $K_{сз}, K_i$  – коэффициенты связи, показывающие, во сколько раз уменьшается вероятность остановок рабочих машин от отказов электрооборудования, подвергшегося резервированию.

Выразим сменный коэффициент через вероятности отказов электрооборудования

$$K_{см} = \left[ \frac{1}{K_{1T}} + \alpha \left( \frac{1}{K_{2T}} - 1 \right) + K_{сз} \left( \frac{1}{1 - \bar{P}_{сз}} - 1 \right) + \sum_{i=1}^n K_i \left( \frac{1}{1 - \bar{P}_i} - 1 \right) \right]^{-1}, \quad (3)$$

Вероятности наработок на отказ во много раз больше вероятностей отказов. При этом учитывая длительности и частоту появления отказов выражение (3) примет вид

$$K_{см} = \left[ \frac{1}{K_{1T}} + \alpha \left( \frac{1}{K_{2T}} - 1 \right) + K_{сз} \bar{\mu}_{сз} \bar{\theta}_{сз} + \sum_{i=1}^n K_i \bar{\mu}_i \bar{\theta}_i \right]^{-1}. \quad (4)$$

где  $\bar{\mu}$  – частота появления отказа;

$\bar{\theta}$  – средняя длительность отказа.

Учитывая выражение (1) получим

$$K_{см} = \left[ \frac{1}{K_{1T}} + \alpha \left( \frac{1}{K_{2T}} - 1 \right) + K_{сз} \bar{P}_{сз} \int_{\delta}^{\infty} \beta(\theta) d\theta_{сз} + \sum_{i=1}^n K_i \bar{P}_i \int_{\delta}^{\infty} \beta(\theta) d\theta_i \right]^{-1}. \quad (5)$$

Проведя дальнейшие преобразования получим выражение для отдельной единицы электрооборудования

$$K_{см} = \left[ K + \left( K_{сз} \bar{P}_{сз} + \sum_{i=1}^n K_i \bar{P}_i \right) \int_{\delta}^{\infty} \beta(\theta) d\theta \right]^{-1}. \quad (6)$$

В зависимости от соотношения составляющих правой части (6) могут быть использованы разные выражения для определения сменного коэффициента машинного времени. В данном случае они соответственно равны

$$K_{см} = K^{-1}, \text{ при } K \gg \left( K_{сз} \bar{P}_{сз} + \sum_{i=1}^n K_i \bar{P}_i \right); \quad (7)$$

$$K_{см} = \left[ K + \left( K_{сз} \bar{P}_{сз} + \sum_{i=1}^n K_i \bar{P}_i \right) \int_{\delta}^{\infty} \beta(\theta) d\theta \right]^{-1}, \text{ при } K \approx \left( K_{сз} \bar{P}_{сз} + \sum_{i=1}^n K_i \bar{P}_i \right); \quad (8)$$

$$K_{см} = \left[ \left( K_{сз} \bar{P}_{сз} + \sum_{i=1}^n K_i \bar{P}_i \right) \int_{\delta}^{\infty} \beta(\theta) d\theta \right]^{-1}, \text{ при } K \ll \left( K_{сз} \bar{P}_{сз} + \sum_{i=1}^n K_i \bar{P}_i \right). \quad (9)$$

В зависимости от типа закона распределения эффект от применения временной избыточности будет неодинаковым. На рисунке 1-3 представлены зависимости сменного коэффициента машинного времени для каждого из законов распределения с указанием областей эффективности применения временной избыточности. На рисунке 1 область оправданного применения временной избыточности обозначена точкой  $A_1$ . Соответственно для логарифмически-нормального –  $A_2$ , а для усеченно-нормального –  $A_3$ . Эти области связаны между собой соотношением  $A_1 < A_2 < A_3$ . Из этого следует, что самым действенным является использование временной избыточности на предприятии, которое подчиняется усеченно-нормальному закону распределения.

На экономический эффект от применения временной избыточности в системе электрооборудования будут оказывать влияние внутренние параметры законов распределения. Для логарифмически-нормального распределения это среднее квадратическое значение. Для усеченно-нормального распределения добавляется нормирующий множитель. Если использовать временную избыточность, то по сравнению с системами без избыточности с большими значениями параметров законов распределения отказов, суточная нагрузка на технологические машины будет больше. В связи с этим становится больше и годовой экономический эффект.

Для оценки оправданного применения временной избыточности необходимо выполнить технико-экономический анализ. Для расчета годового экономического эффекта целесообразно применить следующее выражение



$$\Theta = \frac{\gamma C K_{cm} \delta T_{cm} n_{cm} n_{\text{дн}}}{100} \left( \frac{K_{cm}''}{K_{cm}} - 1 \right) = \frac{\gamma C \delta T_{cm} n_{cm} n_{\text{дн}}}{100} (K_{cm}'' - K_{cm}), \quad (10)$$

где  $\gamma$  – удельный вес условно-постоянных расходов на обслуживание оборудования рассматриваемой подсистемы;  
 $C$  – себестоимость выпускаемой продукции;  
 $T_{cm}$  – продолжительность смены;  
 $n_{cm}$  – число смен;  
 $n_{\text{дн}}$  – число рабочих дней в году.

Для оценки влияния временной избыточности на отдельные уровни системы электро-снабжения дробь последнего выражения обозначим через  $N$ , а  $K_{cm}''$  и  $K_{cm}$  распишем. В результате получим следующую зависимость

$$\Theta = N \left[ \left[ K_H + K_H' \int_s^\infty \beta(\theta) d\theta \right] - \left[ K + K' \int_s^\infty \beta(\theta) d\theta \right] \right]. \quad (11)$$

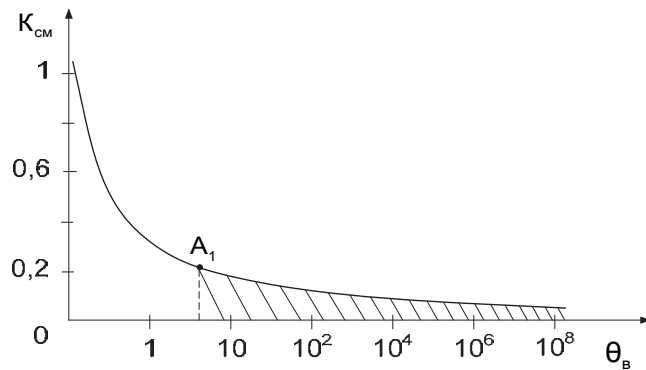


Рисунок 1 – Экспоненциальный закон распределения отказов

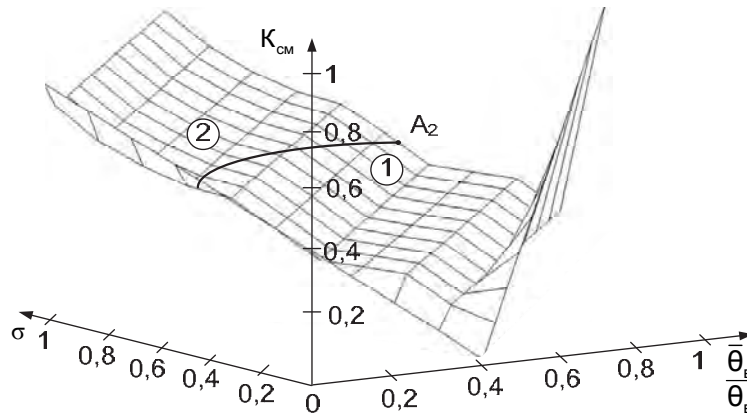


Рисунок 2 – Логарифмически-нормальный закон распределения отказов

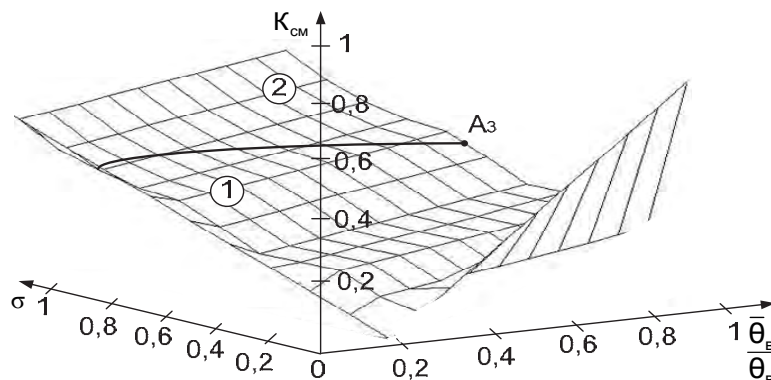


Рисунок 3 – Усечено-нормальный закон распределения отказов

Соответственно учитывая  $K_n, K'_n$  и  $K, K'$  при определении сменного коэффициента машинного времени после и до использования структурной избыточности можно сделать вывод, что экономические затраты будут увеличиваться с увеличением сменных коэффициентов. Главной задачей при этом является нахождение таких оптимальных параметров, при которых внедрение временной избыточности будет экономически обоснованным, а так же соответствовать степени надежности определенного уровня системы электроснабжения.

В результате проведения относительное технико-экономического анализа выявлено, что наименьшие затраты будут при экспоненциальном законе распределения длительностей отказов электрооборудования, наибольшие – при усечено-нормальном распределении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шпиганович, А.Н. Случайные импульсные потоки: учеб. пособие / А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, В.И. Бош. -Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина; Липецк: ЛГТУ, 2004. -292 с.
- 2 Шпиганович, А.Н. Внутризаводское электроснабжение и режимы / А.Н. Шпиганович, К.Д. Захаров. -Липецк: ЛГТУ, 2007. - 759 с.
- 3 Шпиганович, А.А. Современное состояние вопроса безотказности систем электроснабжения: монография / А.А. Шпиганович. -Липецк: ЛГТУ, 2012. -80 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система электроснабжения, временная избыточность, отказ оборудования, надежность  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Шпиганович Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»  
Шпиганович Алла Александровна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»  
Костина Ирина Игоревна, магистрант ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 398600, г.Липецк, ул.Московская, 30, ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЯВЛЕНИЯ ВЫНУЖДЕННЫХ ОСТАНОВОК ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СО СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ**

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

**А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, Д.Ю. Дмитриенко**

### **THE TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF EMERGENCE OF THE COMPELLED STOPS OF ELECTRORECEIVERS OF SYSTEMS OF POWER SUPPLY WITH STRUCTURAL REDUNDANCY**

Lipetsk state technical university  
A.N. Shpiganovich, A.A. Shpiganovich, D.Yu. Dmitrienko

The article considers compelled equipment stoppages of power supply systems with the use of structural redundancy, which is relevant in connection with the objectives of uninterrupted and quality electricity production machines, as well as identifying the optimal parameters for a specific type of enterprise.

*Keywords: the compelled stop, cracks, structural redundancy, the law of distribution*

Рассмотрены вынужденные остановки оборудования систем электроснабжения с применением структурной избыточности, что является актуальным в связи с задачами бесперебойного и качественно электроснабжения технологических машин, а так же выявления оптимальных параметров для определенного типа предприятия.

Для повышения эффективности функционирования систем электроснабжения применяется резервное оборудование, то есть используется структурная избыточность. В случае отказа отдельных единиц оборудования осуществляется переход на резервное электрооборудование. Переход может осуществляется автоматически или осуществляется вручную обслуживающим персоналом. Первый случай, как правило, выполняется на высоких уровнях системы электроснабжения. Это относится к подстанциям и распределительным пунктам, где имеются все условия для дополнительной установки необходимого электрооборудования. Во втором случае заменяемое оборудование как правило доставляют из склада или другого запасника. Естественно это сопровождается значительным временем вынужденных остановок приводных двигателей технологических машин. Если для первого случая переход осуществляется практически мгновенно системами управления, автоматики и релейной защиты, то во втором случае время перехода в основном зависит от оперативности и квалификации обслуживающего персонала. Именно это определяет длительность вынужденных остановок приемников электрической энергии.

Включение резервного электрооборудования по длительности вместо основного в зависимости от производственного уровня функционирования технологического процесса может

подчиняться соответствующему закону распределения. Для передовых предприятий это экспоненциальный закон распределения длительностей перехода. Когда предприятие среди аналогичных обладает средними параметрами, характеризующими функционирование технологического процесса, то закон распределения длительностей перехода на заменяемое электрооборудование – логарифмически-нормальный. Если предприятие отстающее, то закон распределения времени перехода на резервное электрооборудование усечено-нормальный.

Оценка вынужденных остановок приемников осуществляется относительно отказов электрооборудования уровней системы электроснабжения (таблица). В данном случае используются такие параметры как вероятность, частота и длительность отказов. С применением структурной избыточности повышающих эффективность функционирования приемников в основном изменяются такие параметры как время восстановления отказов и их вероятность. Происходит это потому, что для электрооборудования наработки на отказ составляют десятки, тысячи часов, а длительность отказов часы.

*Таблица – Наименование технологического оборудования и вероятностные параметры электродвигателей*

Электрические двигатели технологического оборудования	Интенсивность отказов, год <sup>-1</sup>	Вероятность отказа·х10 <sup>-4</sup>	Частота отказа, год <sup>-1</sup>
Двигатели наклона печей	0,009	0,1	0,036
Двигатели поворота портала	0,010	0,2	0,020
Двигатели подъема свода	0,009	0,2	0,036
Двигатели рабочего окна	0,010	0,1	0,020
Водяные насосы	0,010	0,1	0,020
Вентиляторы	0,015	0,1	0,075
Двигатели фурмы	0,010	0,1	0,020
Дымососы	0,010	0,5	0,040
Привод ворот	0,010	0,5	0,020
Дымососы ВАОВ	0,015	0,1	0,030
Насосы	0,010	0,5	0,020
Двигатели газоочистки	0,010	0,5	0,040
Устройство электромагнитного перемешивания металла	0,016	0,5	0,032
Газодувка	0,009	0,5	0,018
Вентилятор	0,016	0,5	0,096
Станок для фрезирования торцов изложниц	0,020	0,5	0,020
Дренажный насос	0,010	0,5	0,030
Элеватор ковшовый	0,014	0,5	0,098
Дробебетный барабан	0,010	0,1	0,010
Ленточный конвейер	0,010	0,1	0,010
Галтовочный барабан	0,010	1,1	0,010
Насос закалочного бака	0,010	0,5	0,030
Пресс	0,010	1,4	0,020
Пластинчатый конвейер транспортировки отливок	0,022	0,2	0,022
Обдирочно-шлифовальный станок	0,010	0,1	0,036
Токарно-винторезный станок	0,010	1,9	0,020

Поэтому оценку вынужденных остановок электроприемников следует осуществлять относительно параметров отказов электрооборудования. Применение структурной избыточности влияет на параметры вынужденных остановок электроприемников в разы. В разы возрастает и экономический эффект. В некоторых случаях отказы электрооборудования системы могут вызвать изменение технологического процесса, что связано с большими материальными убытками. Поэтому технико-экономическая оценка вынужденных остановок даже при наличии избыточностей в системе является необходимой. Она позволяет определить на каком уровне системы электроснабжения следует использовать соответствующий вид избыточности. В данном случае анализ осуществляется при условии, что предприятие является передовым, и закон распределения длительностей перехода на резерв будет экспоненциальным.

График зависимости сменного коэффициента машинного времени технологического обо

рудования  $K_{см}$  показывает, что при учете всех параметров его определяющих величина ошибки расчета будет минимальна (кривая «а» на рисунке 1). Когда учитываются отдельные составляющие кривая смещается (кривая «б» на рисунке 1), увеличивается величина ошибки расчета  $K_{см}$ . На форму зависимости сменного коэффициента влияет значение времени восстановления системы электроснабжения. При малых значениях времени восстановления  $\theta$  будет иметь место прямолинейность участка графика (кривая «а», на рисунке 1). С увеличением времени восстановления системы электроснабжения прямолинейный характер графика нарушается на соответствующих участках II и III. Экономически оправданное  $K_{см}$  находится на I участке и при переходе с первого участка графика на второй его участок. Целесообразно, чтобы применение структурной избыточности обеспечивало оптимальное значение сменного коэффициента.

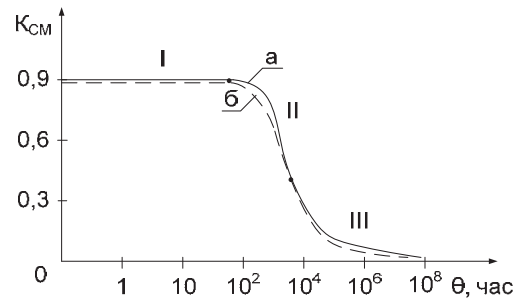


Рисунок 1 – Зависимость сменного коэффициента: а-при трех соотношениях составляющих коэффициента; б-при учете отдельных составляющих коэффициента

Нежелательными являются отказы длительностью  $(10^{-5}-10^{-7})\bar{\theta}$ . В связи с этим наибольшее влияние на сменный коэффициент машинного времени технологической машины будут оказывать коэффициенты готовности по группе последовательных и параллельных перерывов.

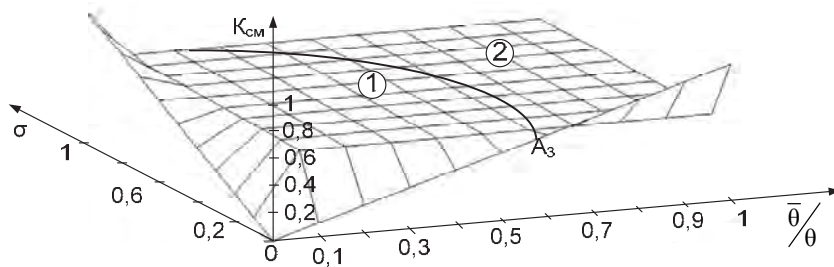


Рисунок 2 – Изменение сменного коэффициента машинного времени при усечено-нормальном законе распределения с нормирующим множителем 1,0

Они показывают, во сколько раз уменьшается вероятность остановок рабочих машин от отказов электрооборудования, подвергнувшегося резервированию. Если построить графическое изображение сменного коэффициента машинного времени для разных законов распределения отказов, то полученные изображения будут отличаться друг от друга.

В зависимости от закона распределения отказов происходит видоизменение поверхности  $K_{см}$ . Так для усечено-нормального закона распределения происходит ее смешение вдоль осей координат (рисунок 2). Учет сменного коэффициента является необходимым при анализе систем электроснабжения с избыточностями. При различных законах распределения его влияние будет неодинаковым. Без структурной избыточности самым нежелательным является усечено-нормальный закон распределения, то есть происходит большое количество длительных отказов в системе. После введения структурной избыточности в систему электроснабжения наибольший эффект наблюдается именно при этом законе распределения. На рисунке 2 показано, что с ростом  $\theta$  область оптимальных значений 1 переходит в область 2, характеризующуюся большим количеством отказов. Граница этих областей обуславливается отношением  $\bar{\theta}/\theta = A$ . Для трех законов распределения (экспоненциальный, логарифмически-нормальный, усечено-нормальный) значение данного параметра будет неодинаково:  $A_1 < A_2 < A_3$ . При увеличении значений фигурирующих параметров суточная нагрузка на систему электрооборудования увеличивается. Увеличиваться также и годовой экономический эффект, что подтверждается [1]

$$\mathcal{E} = \frac{\gamma \cdot C \cdot K_{см} \cdot \bar{b} \cdot T_{см} \cdot n_{см} \cdot n_{\text{дн}} \cdot \left( \frac{K'_{см}}{K_{см}} - 1 \right)}{100} = \frac{\gamma \cdot C \cdot \bar{b} \cdot T_{см} \cdot n_{см} \cdot n_{\text{дн}} \cdot (K'_{см} - K_{см})}{100},$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект;

$\gamma$  – удельный вес условно-постоянных расходов на обслуживание оборудования рассматриваемой подсистемы;

$C$  – себестоимость выпускаемой продукции;

$n_{\text{дн}}$  – число рабочих дней в году

$$\Theta = N \left\{ \left[ K_H + K'_H \beta \int_0^{\theta} b(\theta) d\theta \right] - \left[ K + K' \int_0^{\theta} \beta(\theta) d\theta \right] \right\}.$$

В данном выражении  $K, K'$  и  $K_H, K'_H$  сменные коэффициенты машинного времени до и после внедрения структурной избыточности в системе электроснабжения. Влияние этих параметров можно увидеть из сравнения затрат до и после применения структурного резервирования.

Оценку рассмотренного выполним на примере использования двигателя ленточного конвейера сталеплавильного производства. Его средняя производительность 170 т/ч. При этом работа происходит в три смены по 8 ч. Расчетный коэффициент равен  $\alpha = 0,9$ . Значение сменного коэффициента до введения структурной избыточности согласно [1]:

$$K_{\text{см}} = \left[ \frac{1}{K_{1T}} + \alpha \left( \frac{1}{K_{2T}} - 1 \right) + K_{\text{сз}} \left( \frac{1}{P_{\text{сз}}} - 1 \right) + \sum_{i=1}^n K_i \left( \frac{1}{P_i} - 1 \right) \right]^{-1} =$$

$$= \left[ \frac{1}{0,96} + 0,9 \left( \frac{1}{0,95} - 1 \right) + 0,5 \left( \frac{1}{0,99975} - 1 \right) + 0,5 \left( \frac{1}{0,99999} - 1 \right) \right]^{-1} = 0,6597.$$

Относительный прирост нагрузки составляет

$$\alpha = \left[ 1 - K_{\text{см}} \sum_{i=1}^n K_i \left( \frac{1}{P_i} + \frac{1}{P'_i} \right) \right]^{-1} = \left[ 1 - 0,6597 \cdot 0,5 \left( \frac{1}{0,99974} + \frac{1}{0,99999} \right) \right]^{-1} = 2,94$$

$$A_{\text{сут}} = K_{\text{см}} \cdot \bar{b} \cdot T_{\text{см}} \cdot n_{\text{см}} = 0,6597 \cdot 170 \cdot 8 \cdot 3 = 2691,58,$$

где  $\bar{b}$  – средняя производительность рабочей машины за машинное время;

$T_{\text{см}}$  – длительность рабочей смены;

$n_{\text{см}}$  – число рабочих смен в сутки.

Экономический эффект рассчитывается с учетом того, что удельный вес условно-постоянных расходов на обслуживание оборудования равен 0,7, а приблизительная себестоимость выпускаемой продукции 150000 д.е.

$$\Theta = \frac{0,7 \cdot 150000 \cdot 2691,58 \cdot 365}{100} (2,94 - 1) = 191896196,1 \text{ д.е.}$$

С введением структурной избыточности данные вероятностей отказа уменьшаются (см. таблица). Соответственно, для двигателя ленточного конвейера значения вероятности вынужденных остановок от отказов электрооборудования уменьшатся 0,000006 для первого уровня электроснабжения и 0,000036 для шестого уровня

$$K_{\text{см}} = \left[ \frac{1}{0,96} + 0,9 \left( \frac{1}{0,95} - 1 \right) + 0,5 \left( \frac{1}{0,999964} - 1 \right) + 0,5 \left( \frac{1}{0,999994} - 1 \right) \right]^{-1} = 0,6597;$$

$$\alpha = \left[ 1 - 0,918 \cdot 0,5 \left( \frac{1}{0,999964} + \frac{1}{0,999994} \right) \right]^{-1} = 12,23;$$

$$A_{\text{сут}} = 0,918 \cdot 170 \cdot 8 \cdot 3 = 3746,36;$$

$$\Theta = \frac{0,7 \cdot 150000 \cdot 3746,36 \cdot 365}{100} (12,23 - 1) = 15905584934,5 \text{ д.е.}$$

Увеличение относительного прироста нагрузки, требует применения средств на установку дополнительного оборудования, что уменьшает экономический эффект. Результаты выполненного анализа позволяют определить оптимальные параметры системы электроснабжения со структурной избыточностью при которых экономический эффект наибольший.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шпиганович, А.Н. Случайные импульсные потоки: учеб. пособие / А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, В.И. Бош. -Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина; Липецк: ЛГТУ, 2004. -292 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вынужденные остановки, отказы, структурная избыточность, закон распределения  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Шпиганович Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»  
 Шпиганович Алла Александровна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»  
 Дмитриенко Дарья Юрьевна, магистрант ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 398600, г.Липецк, ул.Московская, 30, ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»

# РАБОТА ДВЕНАДЦАТИПУЛЬСНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ПИТАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Е.А. Барина, Д.М. Стрельникова, М.Е. Вильбергер, А.В. Мятёж

WORK RECTIFIERS TWELVE-PULSES WITH ASYMMETRY AND NON-SINUSOIDAL VOLTAGES OF SUPPLY

Novosibirsk state technical university

E.A. Barinova, D.M. Strelnikova, M.E. Vilberger, A.V. Myatezh

The method of assessing the quality of the rectified voltage with the asymmetry and non-sinusoidal voltage supply twelve-pulses rectifiers. A comparative evaluation of the quality of the rectified voltage of classical rectifier and with orthogonal systems voltages.

Keywords: rectifier, with higher pulse numbers, asymmetry, orthogonal

Рассмотрена методика оценки качества выпрямленного напряжения с учетом несимметрии и несинусоидальности напряжений питающей сети двенадцатипульсных выпрямителей. Проведена сравнительная оценка качества выпрямленного напряжения классического выпрямителя и с ортогональными системами напряжений.

Работа многопульсных выпрямителей тяговых подстанций электрического транспорта во многом зависит от качества электрической энергии питающей энергосистемы. Оценка качества выпрямленного напряжения с учетом несимметрии и несинусоидальности напряжений питающей сети является актуальной задачей, решение которой может позволить выбрать рациональное схемное решение. На сегодняшний день на тяговых подстанциях железнодорожного транспорта постоянного тока, как правило, применяется двенадцатипульсное схемное решение с последовательным или параллельным соединением трехфазных мостов [1]. Также сейчас в литературе часто встречаются схемные решения выпрямителей, построенных на ином принципе [2]. Особый интерес представляют схемные решения с ортогональными системами напряжений внутри выпрямительного процесса (рисунок 1). Сравнительная оценка работы этих выпрямителей с классическими позволит выявить выпрямитель, обладающий лучшей электромагнитной совместимостью с потребителями и питающей сетью. Такая оценка может быть проведена с учетом искажающих факторов питающей энергосистемы в выпрямительных процессах.

Качество трехфазных питающих систем центрального электроснабжения регламентирует ГОСТ Р 54149-2010, где указаны уровни гармонического состава напряжений для различных точек общего присоединения к электрическим сетям с разными номинальными напряжениями. В таблице ГОСТа приведены коэффициенты  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения в процентах, которые являются нормально допустимыми для соответствующих точек общего присоединения в сетях с номинальным напряжением 10 кВ. Предель-

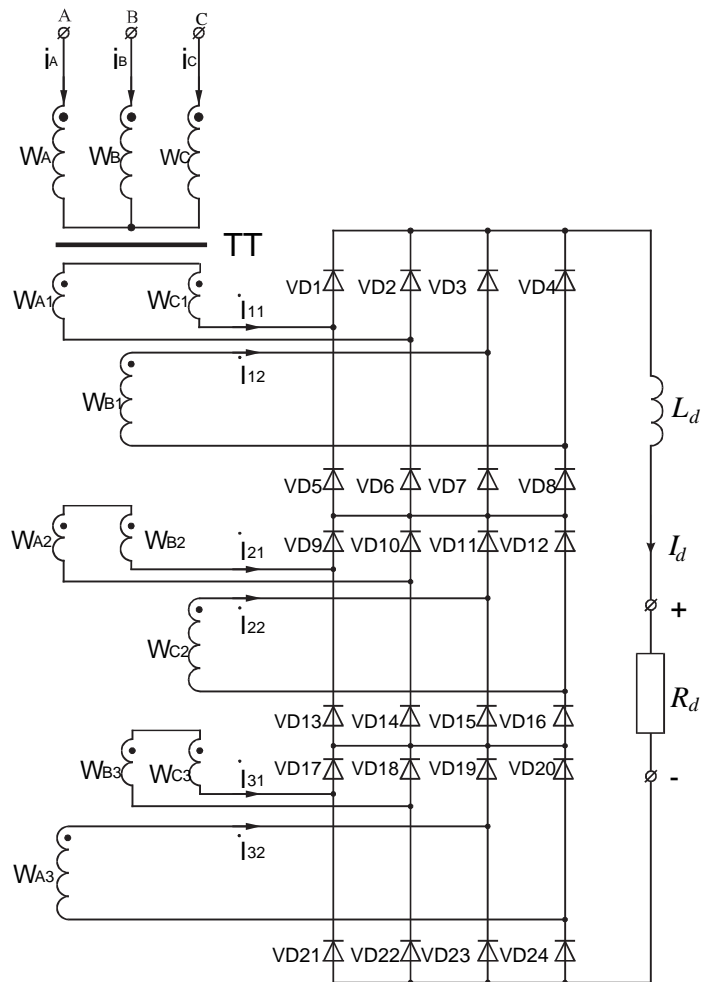


Рисунок 1 – Принципиальная схема двенадцатипульсного выпрямителя с ортогональными системами напряжений

но допустимые значения коэффициентов гармоник напряжений вполне логично определять по формуле

$$K_{U(n)} = K_D \cdot K_{U(n)норм}, \quad (1)$$

где  $K_D$  – коэффициент изменения процентного состава высших гармоник имеющий предел изменения от 0 до 1,5, причем при значении  $K_D = 1,5$  коэффициенты гармонических составляющих будут характеризовать предельно допустимые значения, а при  $K_D = 1,0$  – нормально допустимые.

В ГОСТ Р 54149-2010 нормально и предельно допустимые значения несимметрии регламентируются в пределах 2 и 4% соответственно.

Напряжение на вторичных обмотках трансформатора, соединенных по схеме «звезда» с учетом третьей гармоники:

$$\begin{cases} u_A = U_A [\sin(\omega t) + K_D 0,03 \sin(\omega t \cdot 3)]; \\ u_B = U_B \{ \sin(\omega t - \alpha_B) + K_D 0,03 \sin[(\omega t - \alpha_B) 3] \}; \\ u_C = U_C \{ \sin(\omega t + \alpha_C) + K_D 0,03 \sin[(\omega t + \alpha_C) 3] \}. \end{cases} \quad (2)$$

Напряжение на вторичных обмотках трансформатора, соединенных по схеме «треугольник» будут определяться:

$$\begin{cases} u_{A2} = \frac{U_B - U_A}{\sqrt{3}}; \\ u_{B2} = \frac{U_C - U_B}{\sqrt{3}}; \\ u_{C2} = \frac{U_A - U_C}{\sqrt{3}}. \end{cases} \quad (3)$$

Выпрямленное напряжение двенадцатипульсного выпрямителя по классической схеме можно определить как сумму выпрямленных напряжений каждого трехфазного моста

$$U_{d0} = U_{d1} + U_{d2}, \quad (4)$$

где  $U_{d1}$  – выпрямленное напряжение трехфазного моста, подключенного к вторичным обмоткам, соединенных по схеме «звезда»;

$U_{d2}$  – выпрямленное напряжение трехфазного моста, подключенного к вторичным обмоткам, соединенных по схеме «треугольник» [3].

Напряжение на выходе трехфазных мостов можно определить, исходя из принципа работы, как

$$U_{d1} = \begin{cases} |u_{A2}|, \text{ если } |u_{A2}| > |u_{B2}| \text{ и } |u_{A2}| > |u_{C2}| \\ |u_{B2}|, \text{ если } |u_{B2}| > |u_{C2}| \text{ и } |u_{B2}| > |u_{A2}|, \\ |u_{C2}|, \text{ если } |u_{C2}| \geq |u_{B2}| \text{ и } |u_{C2}| \geq |u_{A2}| \end{cases} \quad (5)$$

$$U_{d2} = \begin{cases} |u_A|, \text{ если } |u_A| > |u_B| \text{ и } |u_A| > |u_C| \\ |u_B|, \text{ если } |u_B| > |u_C| \text{ и } |u_B| > |u_A|, \\ |u_C|, \text{ если } |u_C| \geq |u_B| \text{ и } |u_C| \geq |u_A| \end{cases} \quad (6)$$

Совокупность выражений (2)-(6) представляет собой математическую модель по определению мгновенных значений выпрямленного напряжения двенадцатипульсного выпрямителя с учетом несимметрии и третьей гармоники напряжений питающей сети.

Данная математическая модель выполнена в среде MathCad и получены реализации графиков изменения выпрямленного напряжения при несимметрии и с присутствием третьей гармоники в питающей сети.

На рисунке 2 представлено выпрямленное напряжение классического двенадцатипульсного выпрямителя с учетом несимметрии напряжений и третьей гармоники питающей сети.

Рассмотрим работу выпрямителей ортогональных систем напряжений с применением трехфазных трансформаторов при симметричных и синусоидальных напряжениях питающей сети, и при несимметрии с присутствием третьей гармоники.

Для определения мгновенных значений выпрямленного напряжения рассматриваемых



выпрямителей, процесс выпрямления в силу идентичности можно разделить на три ступени выпрямления и тогда выпрямленное напряжение всего преобразователя будет определяться как сумма выпрямленных напряжений каждой из ступеней, сдвинутых на соответствующий фазовый угол

$$u_d = u_{d1} + u_{d2} + u_{d3}, \quad (7)$$

выпрямленные напряжения каждой из ступеней определяются:

– для первой ступени

$$u_{d1} = \begin{cases} |u_B \cdot W_{B1}|, & \text{если} \\ |u_B \cdot W_{B1}| > |u_A \cdot W_{A1} - u_C \cdot W_{C1}|, & \\ |u_A \cdot W_{A1} - u_C \cdot W_{C1}|, & \text{если} \\ |u_B \cdot W_{B1}| \leq |u_A \cdot W_{A1} - u_C \cdot W_{C1}|, & \end{cases} \quad (8)$$

– для второй ступени

$$u_{d2} = \begin{cases} |u_B \cdot W_{B2}| & \text{если} \\ |u_B \cdot W_{B2}| > |u_A \cdot W_{A2} - u_C \cdot W_{C2}|, & \\ |u_A \cdot W_{A2} - u_C \cdot W_{C2}| & \text{если} \\ |u_B \cdot W_{B2}| \leq |u_A \cdot W_{A2} - u_C \cdot W_{C2}|, & \end{cases} \quad (9)$$

– для третьей ступени

$$u_{d3} = \begin{cases} |u_C \cdot W_{C3}|, & \text{если} \\ |u_C \cdot W_{C3}| > |u_A \cdot W_{A3} - u_B \cdot W_{B3}|, & \\ |u_A \cdot W_{A3} - u_B \cdot W_{B3}|, & \text{если} \\ |u_C \cdot W_{C3}| \leq |u_A \cdot W_{A3} - u_B \cdot W_{B3}|, & \end{cases} \quad (10)$$

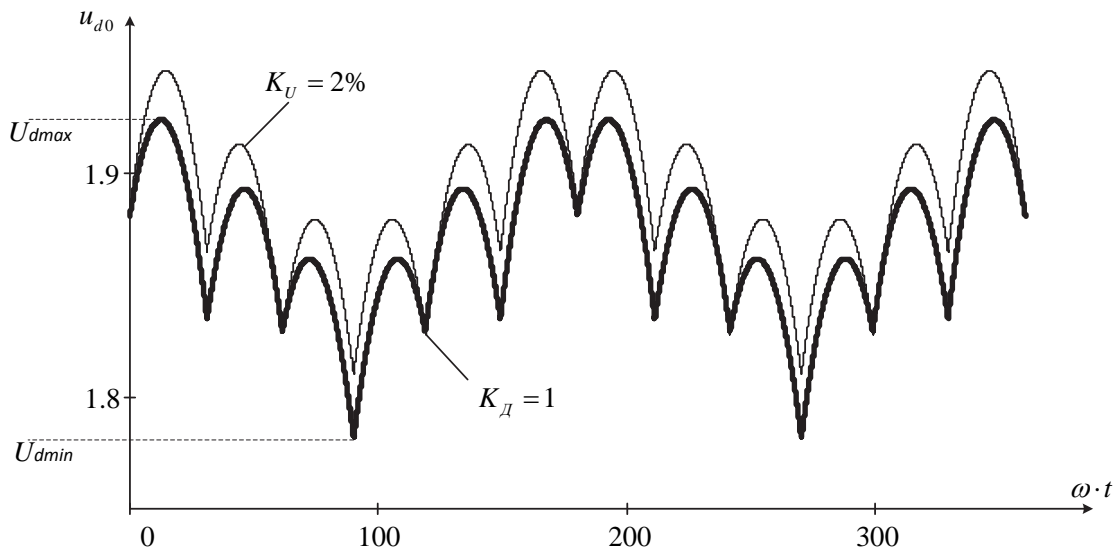


Рисунок 2 – Выпрямленное напряжение двенадцатипульсового выпрямителя с учетом несимметрии 2% и третьей гармоники

Совокупность выражений (7)-(10) представляет собой математическую модель расчета мгновенных значений выпрямленного напряжения в зависимости от параметров питающего напряжения (в том числе при несимметрии и несинусоидальности). Данная математическая модель реализована в среде MathCad и получены графики изменения выпрямленного напряжения при различных условиях воздействия на выпрямительный процесс: несинусоидальности и несимметрии питающей трехфазной сети.

На рисунке 3 представлено выпрямленное напряжение двенадцатипульсового выпрямителя с учетом несимметрии напряжений и третьей гармоники питающей сети.

Для сравнительного анализа качества выпрямленного напряжения схемных решений двенадцатипульсовых выпрямителей был рассчитан размах пульсаций выпрямленного напряжения

$$\Delta_1 = \frac{U_{dmax1} - U_{dmin1}}{U_{d01}} \cdot 100\% = 3,447\%. \quad (11)$$



Результаты расчетов размаха пульсации при различной степени влияния третьей гармоники представлены в виде графиков на рисунке 4.

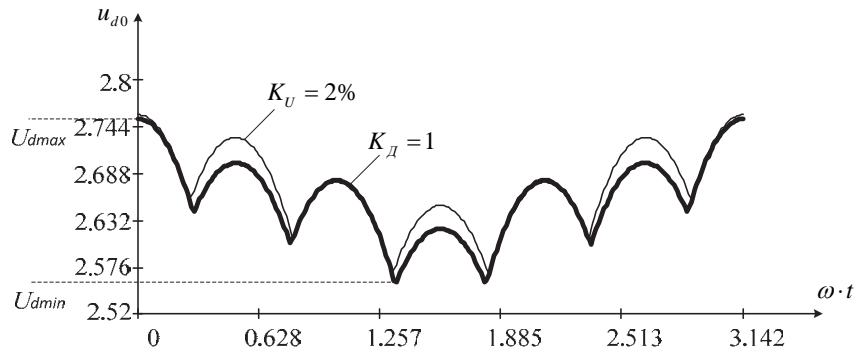


Рисунок 3 – Выпрямленное напряжение двенадцатипульсового выпрямителя с учетом несимметрии 2% и третьей гармоники

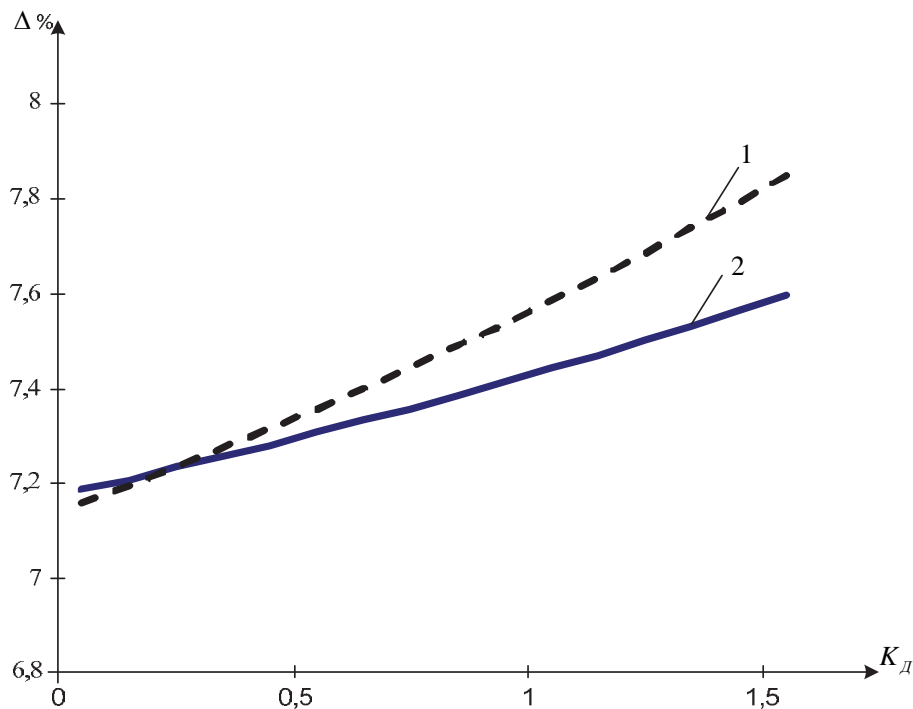


Рисунок 4 – Зависимость размаха пульсаций от коэффициента изменения процентного состава высших гармоник: 1-для выпрямителя с последовательным соединением трехфазных мостов; 2-для выпрямителя с ортогональной системой напряжений

Из рисунка 4 видно, что при увеличении амплитуды третьей гармоники напряжений питающей сети качество выпрямленного напряжения ухудшается, при этом работа выпрямителя с ортогональной системой напряжений менее подвержена искажению напряжений питающей сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шалимов, М.Г. Опыт эксплуатации двенадцатипульсовых выпрямителей на Западно-Сибирской железной дороге / М.Г. Шалимов, Е.Ю. Салита, Н.Н. Волтев // Методы и средства диагностирования технических средств железнодорожного транспорта: тез. докл. всесоюз. науч.-техн. конф. -Омск, 1989. -С. 237.  
 2 Принципы ортогонального выпрямления в трехфазных выпрямителях / Г.Н. Ворфоломеев, С.А. Евдокимов, Н.И. Щуров, Б.В. Малоземов // Высокие технологии: сб. тр. науч.-техн. форума с междунар. участием, Ижевск, 2004: в 4 ч. -Ижевск, 2004. -Ч.4. -С. 137-143.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: выпрямитель, многопульсный, несимметрия, ортогональная  
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Баринаева Екатерина Анатольевна, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 Стрельникова Дарья Максимовна, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 Вильбергер Михаил Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 Мятеж Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

В.Т. Черемисин, А.А. Комяков, О.А. Коломоец

MATHEMATICS METHODS OF ANALYSIS AND CONTROL OF CONSUMPTION OF ELECTRIC ENERGY ENTERPRISES OF RAILWAY TRANSPORT ON THE BASIS OF NEURAL-NETWORK MODELS

Omsk state transport university

V.T. Cheremisin, A.A. Komyakov, O.A. Kolomoets

Were built in consumption of electricity from the selected production and climatic factors. Analyzed and selected the best options neural network models of the program Statistica 10.0. The conclusion is made about the artificial neural network with the best parameters for planning purposes, the consumption of railway transport enterprises.

Keywords: the correlation coefficient, consumption of electric energy, planning, artificial neural network

Построены зависимости расхода электрической энергии от выбранных производственных и климатических факторов. Проанализированы и выбраны лучшие варианты нейросетевых моделей в программе Statistica 10.0. Сделан вывод об искусственной нейронной сети с наилучшими параметрами для целей планирования объема электропотребления предприятиями железнодорожного транспорта.

Железнодорожный транспорт является крупным потребителем электрической энергии в стране, расходуя около 5% электроэнергии. В структуре электропотребления ОАО «РЖД» основная часть общего расхода электрической энергии приходится на тягу поездов, однако велика доля и нетяговых железнодорожных потребителей (до 18%) [1]. К основным крупным нетяговым потребителям относятся объекты ремонтных локомотивных и вагонных депо, компрессорные, системы наружного освещения станций, котельные и канализационно-насосные станции, объекты с электроотоплением и другие.

На сегодняшний день система контроля, анализа и нормирования расхода электрической энергии на тягу поездов проработана достаточно хорошо, в частности, определены основные факторы, влияющие на расход электрической энергии, разработаны нормы расхода электрической энергии по участкам работы локомотивных бригад. В то же время в системе нетягового электроснабжения не существует единого подхода к вопросам анализа и контроля расхода электрической энергии.

Для выбора факторов, оказывающих существенное влияние на расход электрической энергии, можно воспользоваться методами корреляционного и регрессионного анализа.

Основным параметром, характеризующим силу связи между двумя случайными величинами  $X$  и  $Y$ , является коэффициент корреляции [2].

Оценка для коэффициента корреляции определяется по формуле

$$\tilde{r}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{m}_x)(y_i - \tilde{m}_y)}{(n-1)\tilde{\sigma}_x\tilde{\sigma}_y}, \quad (1)$$

где  $x_i, y_i$  –  $i$ -ое значение случайных величин  $X$  и  $Y$  соответственно;

$n$  – объем выборки;

$\tilde{m}_x, \tilde{m}_y$  – несмещенные оценки для математических ожиданий случайных величин  $X$  и  $Y$ ;

$\tilde{\sigma}_x, \tilde{\sigma}_y$  – среднеквадратические отклонения для элементов соответствующих выборок.

Выполненный анализ факторов, влияющих на расход электрической энергии нетяговыми железнодорожными потребителями, показал, что из множества производственных и климатических факторов наибольшую значимость имеют объем производственной деятельности предприятия ( $V$ ), средняя температура воздуха за отчетный период ( $t$ ), приведенная мощность электрооборудования (ЭО) по условно-постоянной ( $P_{пр.п}^{у.п}$ ) и переменной ( $P_{пр.п}^{перем}$ ) составляющим электропотребления [3]. На рисунке 1 показаны зависимости расхода электрической энергии от принятых к рассмотрению факторов для СП различной хозяйственной принадлежности, которые показывают, что абсолютное значение коэффициента корреляции

$r$  во всех случаях оказывается выше 0,6, что говорит о наличии сильной связи указанных факторов с объемом электропотребления.

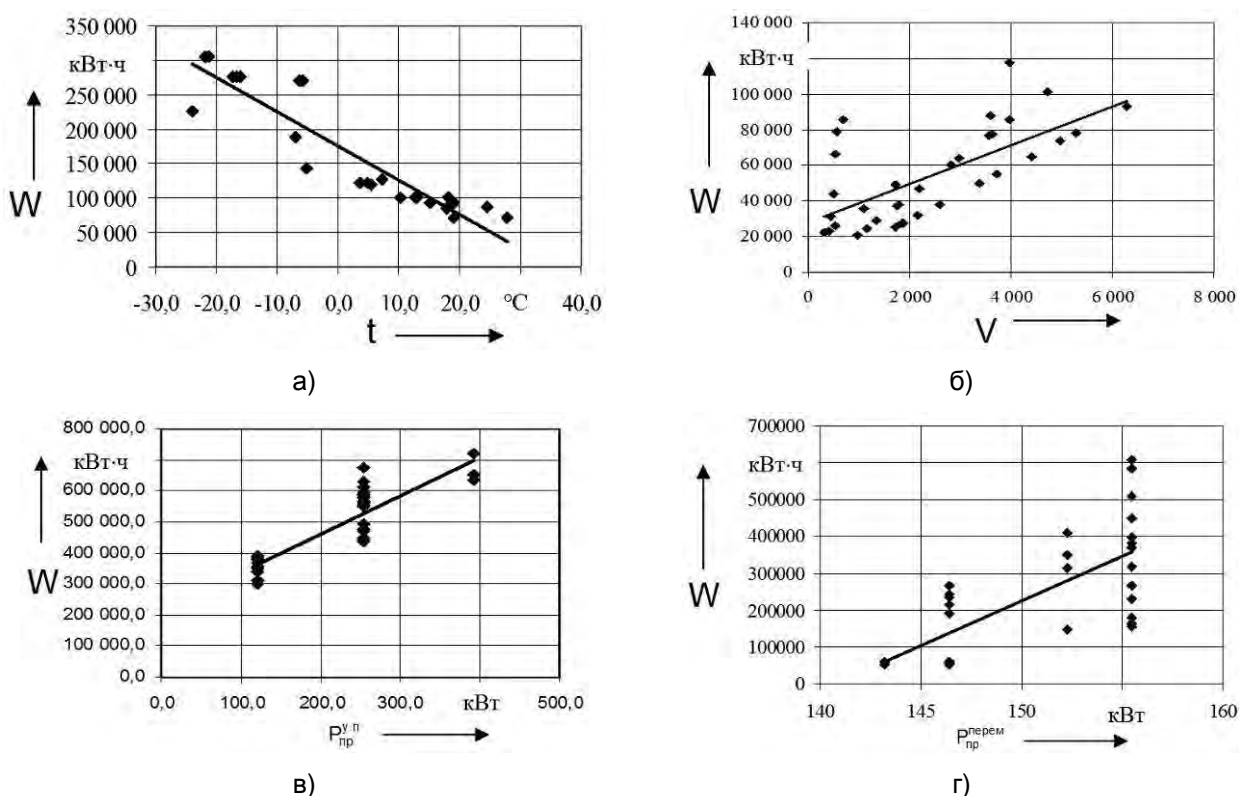


Рисунок 1 – Эмпирические зависимости расхода электроэнергии от влияющих факторов для предприятий железнодорожного транспорта: а) температуры (моторвагонное депо, коэффициент корреляции  $-0,924$ ); б) объема производственной деятельности (отдел материально-технического обеспечения, коэффициент корреляции  $0,682$ ); в) условно-постоянной составляющей (дистанция сигнализации, централизации и блокировки, коэффициент корреляции  $0,884$ ); г) переменной составляющей (дистанция электроснабжения, коэффициент корреляции  $0,723$ )

Проведенный анализ исследования корреляций между переменными показывает, что рассматриваемые производственные и климатические факторы оказывают значительное влияние на расход электрической энергии, однако использование метода корреляционного анализа предполагает наличие только линейной зависимости между исходными данными (температура воздуха, объем ремонтно-эксплуатационной работы и т.п.) и расчетным значением объема электропотребления. На практике такая строгая функциональная зависимость наблюдается редко, так как каждая из участвующих в ней величин может зависеть от многих случайных факторов.

Решить данную задачу предлагается с помощью математического аппарата искусственных нейронных сетей, который позволяет выстраивать нелинейные зависимости. Нейронная сеть получает на входе набор входных сигналов и выдает соответствующий им ответ (выходные сигналы), являющийся решением определенной поставленной цели. Зависимость сигнала на выходе нейрона от взвешенной суммы сигналов на его входах определяется передаточной (активационной) функцией  $f(x)$ . Искусственный нейрон характеризуется своей передаточной (активационной) функцией. Использование различных передаточных функций позволяет вносить нелинейность в работу нейрона и в целом нейронной сети [4]. Для анализа и выбора наилучших нейросетевых моделей предлагается использование современного программного продукта Statistica 10.0. Основными типами передаточных функций, используемых в данной программе на скрытом и выходном слоях, являются:

1) линейная передаточная функция (сигнал на выходе нейрона линейно связан с входными сигналами на входе)

$$f(x) = a \cdot x; \tag{2}$$

2) логистическая (сигмоидальная) передаточная функция

$$f(x) = [1 + \exp(-ax)]^{-1}; \tag{3}$$

3) тангенциальная (гиперболическая) передаточная функция

$$f(x) = \frac{\exp(x) - \exp(-x)}{\exp(x) + \exp(-x)}; \quad (4)$$

4) синусоидальная функция передачи

$$f(x) = \sin(x); \quad (5)$$

5) экспоненциальная передаточная функция

$$f(x) = \exp(-ax); \quad (6)$$

6) радиально-базисная функция передачи (функция Гаусса)

$$f(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^2\right], \quad (7)$$

где  $x$  – входной сигнал;

$a$  – параметр активационной функции.

В качестве исходных данных использованы выборки значений расхода электрической энергии и влияющих факторов на различных структурных подразделениях железных дорог (локомотивно-ремонтные депо, моторвагонные депо, дистанции электроснабжения и пр.) за период времени не менее чем 2 года. Для анализа и выбора наилучших нейросетевых моделей для каждой выборки предусматривается обучить 1000 нейронных сетей, из них отбираются лучшие 10 вариантов и представляются в табличной форме. Всего в ходе исследования проанализировано 20 выборок исходных значений.

При расчетах нейросетевых моделей в программе Statistica используются такие сетевые архитектуры, как многослойные персептроны (сети, основанные на алгоритме обратного распространения ошибки) MLP и радиально-базисные сети RBF. Структура данных нейросетевых моделей представляет из себя сеть с 4 нейронами на входном слое, 1 нейроном на выходном слое и различным количеством нейронов (от 3 до 10) на скрытом слое.

В результате исследования двадцати обучающих выборок можно отметить, что наиболее часто встречающиеся типы передаточных функций на скрытом слое нейросетевых моделей – радиально-базисная и экспоненциальная (составляют около 48% и 24% от общего числа полученных нейронных сетей соответственно), а на выходном слое – линейная (56%) и логистическая (16%).

Одним из важных показателей нейросетевой модели является коэффициент корреляции, показывающий наличие взаимосвязи между переменными и выходным значениями. Проведены расчеты среднего коэффициента корреляции для всех видов активационных функций, в результате которых можно отметить, что наличие сильной связи между влияющими факторами и выходным значением наблюдается для нейросетевых моделей, на скрытом и на выходном слое которых используются тангенциальная, экспоненциальная и логистическая функция (рисунок 2).

Анализ значений среднего коэффициента корреляции для различных типов нейронных сетей показывает, что наибольший коэффициент корреляции наблюдается для многослойных персептронов с числом нейронов на скрытом слое от 3 до 9, а многослойные персептроны с числом нейронов выше 10, а также радиально-базисные сети имеют низкий коэффициент корреляции.

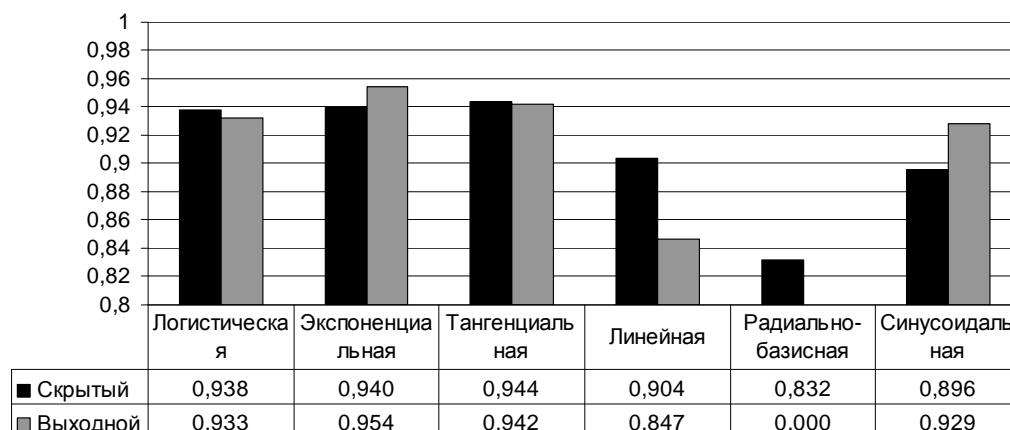


Рисунок 2 – Коэффициенты корреляции для нейросетевых моделей в зависимости от вида передаточной функции на скрытом и выходном слоях

Таким образом, по результатам построения нейросетевых моделей в программном продукте Statistica 10.0 можно сделать вывод о том, что для анализа и контроля расхода электрической энергии на предприятиях железнодорожного транспорта целесообразно использовать многослойные перцептроны (MLP) с числом нейронов на скрытом слое от 3 до 9, тип используемых передаточных функций на скрытом и выходном слоях – экспоненциальные, логистические и тангенциальные.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Энергосбережение на железнодорожном транспорте: учеб. для вузов / В.А. Гапанович [и др.]; под ред. В.А. Гапановича. -М.: МИСиС, 2012. -605 с.
- 2 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. -М.: Наука, 1974. -720 с.
- 3 Комяков, А.А. Анализ факторов, влияющих на расход электрической энергии на нетяговые нужды структурных подразделений железнодорожного транспорта / А.А. Комяков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 151-153.
- 3 Комяков, А.А. Применение искусственных нейронных сетей для планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды структурных подразделений железных дорог / А.А. Комяков, А.В. Пономарев, О.А. Комякова // Изв. Транссиба. - 2011. -№1(5). -С. 63-67.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** коэффициент корреляции, расход электрической энергии, планирование, искусственная нейронная сеть

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Черемисин Василий Титович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
Комяков Александр Анатольевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
Коломоец Ольга Анатольевна, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВЗОВ, ОБОРУДОВАННЫХ КОМПЕНСАТОРАМИ ИСКАЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

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

**Ю.С. Кабалык**

**THE RESEARCH JOINT WORK ELECTRIC LOCOMOTIVES EQUIPPED WITH COMPENSATORS OF VOLTAGE DISTORTION**  
Far Eastern state transport university  
Yu.S. Kabalyk

The article presents the results of research on the impact of electric locomotives to voltage sinusoid waveform in the traction network. In the investigation took into account the application of voltage distortion compensators at electric locomotives.

*Keywords: electric locomotive, quality of power, compensation, traction network, modeling*

Представлены результаты исследования влияния электровозов на синусоидальность формы напряжения в тяговой сети. При исследовании учитывалось применение на электровозах компенсаторов искажения напряжения.

На железных дорогах российской федерации, электрифицированных на переменном токе, наиболее распространенными являются электровозы с зонно-фазным регулированием напряжения. Такие электровозы имеют низкий коэффициент мощности, что обуславливает потребление реактивной энергии, а также искажают синусоидальность кривой напряжения в контактной сети. Искажение кривой напряжения характеризуется провалом во время коммутации вентилей электровоза, и вызываемыми этим провалом высокочастотными колебаниями напряжения [1]. Зачастую это искажение напряжения переходит в систему внешнего электроснабжения, что влияет на других потребителей электроэнергии. Допуски по искажению синусоидальности кривой напряжения регламентируются ГОСТ 13109-97 и оцениваются коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения (далее – коэффициент искажения) [2].

В работах [3, 4] представлен компенсатор искажения напряжения (КИН), который позволяет снизить искажающее влияние электровозов на форму напряжения в тяговой сети электрифицированных железных дорог. КИН позволяет приблизить форму кривой напряжения на токоприемнике электровоза к форме синусоиды. Это осуществляется за счет генерации в контактную сеть высокочастотной гармоника тока, которая заряжает (или разряжает) распределенную ёмкость контактной сети при высокочастотном провале (или всплеске) напряжения до необходимого уровня (достижение формы синусоиды).

Для исследования взаимного влияния типовых электровозов и электровозов, оборудованных КИН, было проведено моделирование совместной работы двух электровозов. За ос-

нову был взят электровоз ЭП1, который работал на 75% от своей номинальной мощности. При этом первый электровоз работал в режиме тяги, а второй – в режиме рекуперативного торможения. Модель контактной сети состояла из последовательного соединения блоков, имитирующих 400 м контактной сети [5], по концам которых расположены тяговые подстанции. Структурная схема моделирования представлена на рисунке 1.

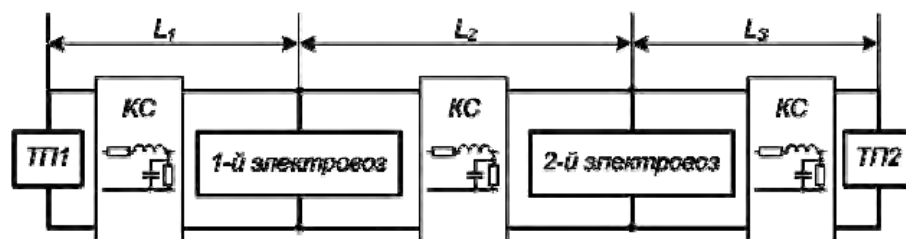


Рисунок 1 – Структурная схема моделирования: ТП1, ТП2 – первая и вторая тяговые подстанции, соответственно; КС – контактная сеть;  $L_1, L_2, L_3$  – соответствующие расстояния от электровозов до подстанций и между ними

Эффективность применения компенсатора оценивалась путем сравнения коэффициента искажения напряжения в контактной сети при пяти вариантах условий моделирования:

- 1) работа двух электровозов в штатном режиме (без компенсатора),  $L_1 = L_3 = 24$  км;  $L_2 = 0,4$  км;
- 2) включение компенсатора на первом электровозе, второй электровоз в штатном режиме,  $L_1 = L_3 = 24$  км;  $L_2 = 0,4$  км;
- 3) включение компенсатора на обоих электровозах,  $L_1 = L_3 = 24$  км;  $L_2 = 0,4$  км;
- 4) включение компенсатора на первом электровозе, второй электровоз в штатном режиме,  $L_1 = L_2 = \text{Var}$ ;  $L_3 = 24$  км;
- 5) включение компенсатора на втором электровозе, первый электровоз в штатном режиме,  $L_1 = 24$  км;  $L_2 = L_3 = \text{Var}$ .

Во всех трёх вариантах электровозы находились на середине межподстанционной зоны, длиной 48,4 км. Указанные на рисунке 1 расстояния составляли:  $L_1 = L_3 = 24$  км;  $L_2 = 0,4$  км.

Работа электровозов моделировалась со следующими значениями углов регулирования выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП):

- для первого электровоза:  $\alpha_0 = 9$  эл.град. и  $\alpha_{p1} = 120$  эл.град.;
- для второго электровоза:  $\beta = 35$  эл.град. и  $\alpha_{p2} = 75$  эл.град.

На рисунке 2 представлены осциллограммы токов и напряжения в контактной сети при первом варианте условий моделирования. Коэффициент мощности первого электровоза при этом составил 0,658, а второго – 0,646.

Из рисунка 2 видно, что напряжение на токоприемнике электровоза значительно искажено высокочастотными колебаниями. Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения составляет  $K_U = 8,5\%$ . Также из рисунка видно, что ток тяговой подстанции содержит высокочастотные колебания тока, которые вызывают дополнительные потери. Напряжение на втором электровозе имеет форму, аналогичную напряжению на первом по причине их близкого расположения.

При втором варианте условий моделирования величина искажения напряжения на электровозе составила  $K_U = 5,5\%$ , а в токе тяговых подстанций значительно уменьшились высокочастотные колебания тока. Коэффициент мощности первого электровоза составил 0,664, а второго – 0,646.

На рисунке 3 представлены осциллограммы токов и напряжения в контактной сети при третьем варианте условий моделирования. Из рисунка видно, что в форме напряжения на электровозе практически исчезли высокочастотные колебания, а коэффициент искажения равен  $K_U = 5,0\%$ . В форме тока тяговой подстанции также уменьшились высокочастотные колебания. Коэффициент мощности первого электровоза составил 0,664, а второго – 0,648.

При исследовании по четвертому и пятому вариантам условий моделирования было проведено по 6 опытов удаления моделируемого электровоза для каждого варианта. По ре-

зультатам расчетов построены графики зависимости коэффициента искажения напряжения от удаления электровоза (рисунок 4).

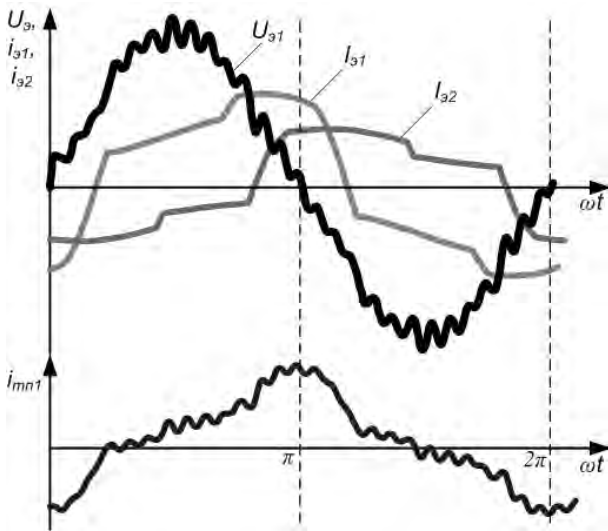


Рисунок 2 – Осциллограммы напряжения и токов в тяговой сети при первом варианте условий моделирования:  $U_{э1}$  – напряжение на первом электровозе;  $i_{э1}, i_{э2}$  – ток первого и второго электровозов, соответственно;  $i_{mn1}$  – ток первой подстанции

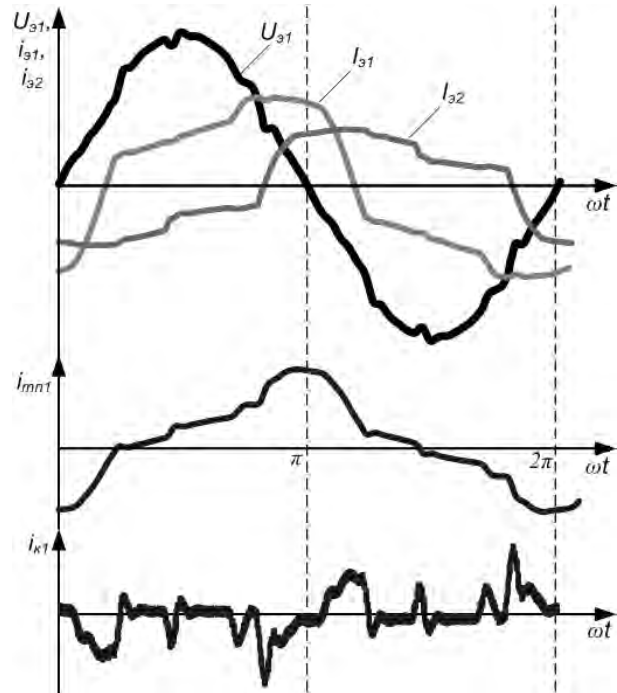
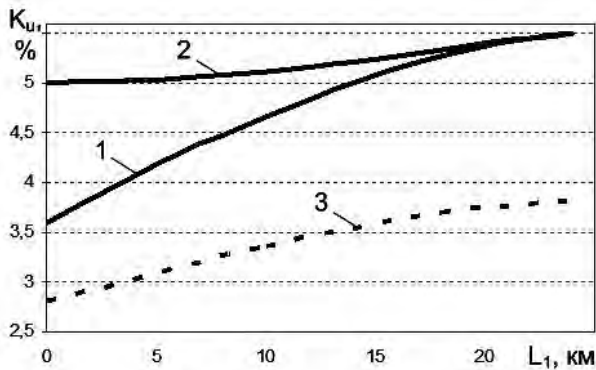
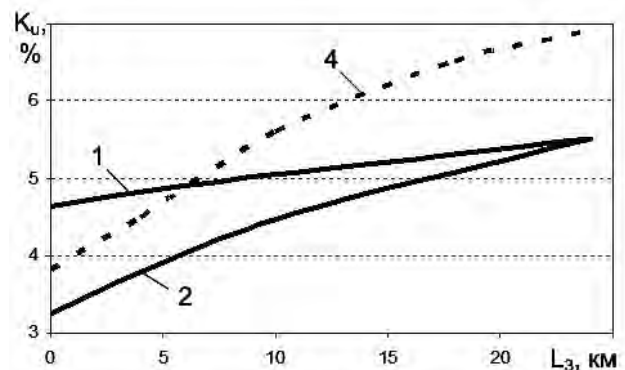


Рисунок 3 – Осциллограммы напряжения и токов в тяговой сети при третьем варианте условий моделирования:  $U_{э1}$  – напряжение на первом электровозе;  $i_{э1}, i_{э2}$  – ток первого и второго электровозов, соответственно;  $i_{mn1}$  – ток первой подстанции;  $i_{к1}$  – ток компенсатора на первом электровозе



а)



б)

Рисунок 4 – Результаты исследования по четвертому (а) и пятому (б) вариантам условий моделирования: 1-первый электровоз; 2-второй электровоз; 3-первый электровоз при отсутствии второго электровоза; 4-второй электровоз при отсутствии первого

Анализ рисунка 4 показывает, что при наличии одного электровоза, оборудованного КИН, происходит уменьшение коэффициента искажения напряжения на всех остальных электровозах, находящихся в этой межподстанционной зоне. Это можно объяснить тем, что КИН генерирует высокочастотную гармонику тока, которая в основном замыкается через распределенную ёмкость контактной сети, вследствие снижения сопротивления последней с повышением частоты. Даже при нахождении электровоза возле тяговой подстанции, для генерируемой высокочастотной гармоники тока меньшим сопротивлением является ёмкость контактной сети, чем индуктивность тяговой подстанции.

Представленные результаты свидетельствуют об эффективности применения компен-

сатора искажения напряжения на электровозах с зонно-фазным регулированием напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Широченко, Н.Н. Электромагнитное взаимодействие электровозов с тяговой сетью с распределенными параметрами и пути его уменьшения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Широченко Николай Николаевич. -М., 1986. -24 с.
- 2 ГОСТ Р 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 01-01-1999. -М.: Изд-во стандартов, 1998. -47 с.
- 3 Кулинич, Ю.М. Повышение синусоидальности формы напряжения в контактной сети при работе электровозов однофазно-постоянного тока / Ю.М. Кулинич, Ю.С. Кабалык // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 390-393.
- 4 Пат. 2442273 Российская Федерация, МПК H02M1/12, H02J3/01. Устройство для преобразования формы напряжения потребителя / Кабалык Ю.С., Кулинич Ю.М.; заявитель и патентообладатель ДВГУПС. -№2010128370/07; заявл. 08.07.2010; опубл. 10.02.2012. -10 с.
- 5 Савоськин, А.Н. Математическое моделирование электромагнитных процессов в динамической системе «контактная сеть-электровоз» /А.Н. Савоськин, Ю.М. Кулинич, А.С. Алексеев // Электричество. -2002. -№2. -С. 29-35.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электровоз, качество электроэнергии, компенсация, тяговая сеть, моделирование  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Кабалык Юрий Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ДВГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 680021, г.Хабаровск, ул.Серышева, 47, ФГБОУ ВПО «ДВГУПС»

## **ИНДИКАТИВНЫЙ ПОДХОД ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ**

**ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**

**С.М. Слободян**

### **ESTIMATING OF THE VACUUM SWITCH CONTACT INDICATOR METHOD**

National research Tomsk polytechnic university  
S.M. Slobodyan

The developed model of indicator system of assessment and prediction of the technical state based on intelligent control taking into account the equipment failure provides the increase of economic performance, resource characteristics and the duration of overhaul period vacuum switch exploitation.

*Keywords: vacuum, electrical contact, switch, estimation*

Предложена модель системы оценки и прогнозирования технического состояния на основе интеллектуального управления с учетом неисправности оборудования, которая обеспечивает повышение экономичности и увеличение ресурсных характеристик вакуумных выключателей.

Энергетика – важная отрасль жизнеобеспечения экономики Российской Федерации, развитие которой за последние четверть века слабо монотонно, что обуславливает весьма высокий (40-70)% моральный и физический износ элементов оборудования многих сетей и систем. Такое состояние сопровождается интенсивным ростом аварийных ситуаций, приводящих в сетях систем электроснабжения к кластерным катастрофам. Рост тока нагрузки электропотребления, длительный срок службы силового электрооборудования и связанный с этим рост числа аварийных ситуаций, требующих коммутационного участия выключателей линий, приводящих к повышению степени износа контактных поверхностей элементов контактной пары вакуумных выключателей. Перечисленные факторы говорят об актуальности необходимости разработки и создания методов, способов и методик оперативной оценки состояния выключателей как элементов систем противоаварийной автоматики линий и средств электроснабжения [1-5]. Кроме того, это обуславливает потребность создания инструмента для объективного определения уровня и качества работы вакуумного выключателя как важного элемента систем автоматики сетей и разработки эффективного плана обслуживания, модернизации или замены при снижении качества передачи и управления коммутации линий. Эффективность любого решения по модернизации, замене вакуумного выключателя и других элементов сети должна быть основана на количественной оценке текущего и будущего состояния выключателя – элемента ключевой системы автоматики, срока службы данного элемента, затрат на его замену или модернизацию для поддержания требуемого качества работы.

Несмотря на кажущуюся простоту принципа действия вакуумного выключателя и достаточно сложное конструктивное его исполнения как устройства коммутации на вакуумный выключатель как на любую систему оказывает влияние множество возмущающих факторов,



способных выводить его из состояния устойчивого функционирования, приводя не только линии электроснабжения, но и вакуумный выключатель в аварийное состояние. В этом случае вакуумный выключатель как элемент противоаварийной автоматики, ввиду потери способности к эффективной коммутации, не только не препятствует развитию аварийных ситуаций в сети, но может становиться элементом, способствующим их развитию из-за потери способности к включению/выключению. Следовательно, оценка и формирование прогноза состояния вакуумного выключателя и осуществляемого им процесса коммутации актуально необходимы для обеспечения эффективного качества коммутации.

Конечный результат решения задачи по оценке оптимальности состояния вакуумного выключателя в важной степени определяет дальнейшую траекторию действия по модернизации и замене вакуумного выключателя, как в плане текущей стадии диагностики, так и в плане определения остаточного ресурса функционирования и перспективы его использования, степени и уровня модернизации узла системы противоаварийной автоматики. Множество траекторий принятия решений определяется разнообразием порядка оценки развития процесса коммутации, аварийных ситуаций и физики протекания коммутации энергии вакуумным выключателем.

Если рассмотрим сопряжение смежных поверхностей расслаиваемого сечения неподвижного и подвижного элементов контактной пары вакуумного выключателя [5], то, учитывая случайность структуры шероховатости поверхности элементов пары, можно показать, что для некоторого  $i$ -го акта включения вакуумного выключателя существует множество  $L$  вероятных вариантов сопряжения смежных шероховатых поверхностей расслоенного контактного сечения элементов контактной пары

$$L_i = \{I_{ik}, k = 1, 2, \dots, K\}; i = 1, 2, \dots, N,$$

где  $N$  – число возможных вариантов сопряжения шероховатостей поверхностей расслоенного сечения элементов контактной пары вакуумного выключателя;

$K$  – число способов его осуществления любого из  $N$  вариантов.

В нашем случае  $K < N$ .

Сильное ударное механическое электромагнитной силы соленоида управления и термическое токовое воздействия при каждом отдельном  $i$ -ом акте аварийного срабатывания изменяет структуру шероховатых поверхностей контактного сечения обоих элементов контактной пары вакуумного выключателя. Вероятное число  $G_i$  изменений сопрягаемых контактных сечений являются источником множества  $M$  ограничений вариантов сопряжения полей шероховатостей смежных элементов слоёв контактного сечения

$$NG_i = \{ng_{im}, m = 1, 2, \dots, M; i = 1, 2, \dots, I\}$$

где  $M$  – число вероятных изменений ограничений;

$I$  – число актов аварийных ситуаций, приведших к изменениям структуры контактных сечений.

Тогда, следуя Серпинскому [6], множество возможных вариантов взаимных покрытий контактных полей аварийно расслоенных контактно сопрягаемых сечений элементов контактной пары вакуумного выключателя отразит множество

$$FL_i = \bigcap_{v=1}^V fl_{iv} = 0; FL_i = \{fl_{iv}, v = 1, 2, \dots, V; i = 1, 2, \dots, I\},$$

где  $V$  – число возможных вариантов взаимных покрытий контактных сечений плоскостей расслоения элементов контактной пары вакуумного выключателя.

Наличие непустого контактного множества  $FL$  случайных вариантов контактного сопряжения расслаиваемых поверхностей элементов контактной пары является достаточным условием выполнения требований критериев обеспечения понятия контактного включения соответствующего образованию полного контактного множества вакуумного выключателя

$$FL = \bigcap_{i=1}^I FL_i \neq 0.$$

Вероятностное формирование кластерного характера полных контактных множеств для сопоставления характеристик и оценок качества контактного сопряжения и мощности полных множеств может быть подвергнуто процедуре ранжирования по выбранным критериям классификации. Процедура ранжирования параметров стохастических контактных полных множеств формируемых при случайных проявлениях аварийных ситуаций может послужить основой оценки эффективности и качества работы вакуумного выключателя на этапе кон-

троля и диагностики его состояния.

Случайный характер аварийных ситуаций, изменяющий условия коммутации – включения или выключения линий, вкупе со случайной трансформацией структур поверхностей контакта расслаиваемого сечения существенно изменяют условия протекания физического процесса переключения выключателем достаточно мощных токов и высокого напряжения. Наложение факторов приводит к появлению множества критериев, оптимальности условий протекания физических процессов при коммутации. Наличие противоречия требований, предъявляемых к алгоритму управления процессом включения/выключения линий вакуумным выключателем, не позволяет строго определить оптимальную процедуру управления предотвращением аварийной ситуации в начальный момент её зарождения. Различие требований и критериев оценки состояния и принятия решений для автоматического управления предотвращением аварий приводит к тому, что оптимизация оценки принятия решений, нахождения оптимального решения при диагностике состояния вакуумного выключателя и планирования модернизации превращается в многоцелевую многопараметрическую задачу, которая сводится к нахождению оптимального решения многопараметрического вероятностного функционала на основе, соответствующего глобального или группы критериев локальной оптимизации.

Вполне естественно наличие или отсутствие априорной информации о протекании процесса коммутации диагностируемым выключателем в сильной мере определяет качество оценки текущего состояния и прогнозирования живучести данного вакуумного выключателя. Заметим, что качество вероятностной оценки текущего состояния исследуемого процесса или физического объекта в сильной мере обуславливается степенью полноты и достоверности наличия априорной информации о состоянии этого объекта на предыдущей стадии оценки и диагностики его состояния. Фактор наличия или отсутствия априорной информации о состоянии объекта контроля на предыдущей стадии оценки и диагностики определяет меру привлечения возможных подходов, методов и средств диагностики состояния объекта наблюдения на текущем и последующих этапах проведения оценок.

Комплексная оценка при диагностике состояния вакуумного выключателя с принятием решения по его модернизации в ряде случаев затруднена из-за уникальной неповторимости случайно возникающих аварийных ситуаций, особенно таких, которые ведут к катастрофическим последствиям в локальной или глобальной аварии для  $i$ -го кластера сети электроснабжения. При комплексной диагностике качества функционирования ключевого элемента коммутации кластера сети электроснабжения могут возникать аварийные ситуации, исключаящие комплексный мониторинг системы в целом, а анализ влияния отдельных сегментов линий диагностируемого кластера из состава системы электроснабжения может быть невыполним из-за отсутствия требуемой для вакуумного выключателя нагрузки, превалирующей в создании аварийных ситуаций и перегрузок функционирования данного выключателя. Хотя, в принципе, каждый из сегментов линий кластера полной системы может представлять разномасштабный, но вместе с тем индивидуальный набор информации об основных функциональных параметрах для оценки состояния неаварийных сегментов сети.

В условиях априорной неопределённости получаемой информации и отсутствия аналитической формализации протекания пред- и аварийных процессов в контролируемом кластере сети для оценок состояния структур сетей индикативный подход [7, 8] к анализу кластерных структур систем [2] можно считать приемлемым подходом к решению задач получения приближённых оценок состояния и качества текущего функционирования вакуумного выключателя в составе данного кластера контролируемой системы.

Индикативный подход основан [7, 8] на понятии индикатора – показателя критерия качества функционирования вакуумного выключателя – ключевого элемента структуры кластерной системы. Его значение в степени достаточной для уверенного принятия решения должно соответствовать качеству его работы и мере развития его аварийности. Согласно положениям индикативного подхода, контроль и диагностика вакуумного выключателя ведётся по совокупности показателей – индикаторов его работы. Роль индикаторов отражать повышение аварийности с количественной оценкой степени угроз работе и качеству коммутации вакуумным выключателем, чтобы на их основе формировать комплекс мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций, например, путём замены выключателя. Вид и форма аналитической функции индикатора определена видом закономерностей решения проблемы оценки состояния и целей её выполнения. Количественная характеристика решения проблем диагностики качества вакуумного выключателя при коммутации аварийных си-

туаций кластера сети получается в результате ретроспективного анализа, а описание цели можно получить на основе сравнительного анализа.

Работоспособность вакуумного выключателя – элемента кластерной системы электропитания связана с особенностями структуры коммутируемого им кластера или всей системы в целом и основой комплексной оценки функционирования вакуумного выключателя может служить классификация состояний путём разделения – ранжирования элементов и ветвей кластера по степени аварийности для каждого показателя – индикатора индикативного узла и по общему состоянию системы в целом. Сравнительный анализ состояний выключателя основан на сопоставлении численных значений индикатора или группы показателей с соответствующими им установленными пороговыми значениями отсчёта влияния этих индикаторов. Чаще всего, на практике, для простейшей оценки работоспособности может быть принята трёхуровневая классификация состояний: нормальное, предшествующее аварийному и аварийное состояние. Обобщение в виде глобальной комплексной оценки вакуумного выключателя как объекта системы электропитания формируется по значениям показателей – индикаторов состояния в различных режимах работы кластерной системы сети электропитания, то есть, по данным отдельных индикативных элементов алгоритма оценки состояния ветвей и всей кластерной системы в целом.

Принадлежность произвольного состояния вакуумного выключателя к некоторому состоянию  $K$ , например, трёхуровневой классификации состояний в индикативном подходе определяют [7] характеристические функции  $\gamma_i(x)$  -функции принадлежности

$$\gamma_i(x) = \begin{cases} A \frac{a-x}{\alpha}, & \text{при } x \leq a; \\ B \frac{x-a}{\beta}, & \text{при } x > a, \end{cases}$$

где  $a$  – нормализованная мода значений показателя – индикатора состояний объекта контроля на  $i$ -ом этапе диагностики;

$\alpha, \beta$  – левая и правая граница значений интервала нечёткости значений оценок, характеризующих границы состояний пороговых уровней оценок (в теории вероятности – границы доверительного интервала значений принимаемых данной случайной величиной с достаточно большой вероятностью)

$$\alpha > 0, \beta > 0;$$

$x$  – текущее значение показателя-индикатора.

Границы состояний соответствуют точкам пересечения закономерностей поведения этих характеристических функций.

В интервале установленной меры нечёткости оценки износа элемента и меры опасности возникающих аварийных ситуаций эффективность контроля и диагностики в пределах диапазона нечёткости получаемой оценки в ранее принятой классификации может быть определена однозначно, несмотря на влияние возмущающих воздействий, с целью предотвращения катастроф при возникающих аварийных ситуациях. Анализ влияния совокупности действующих факторов на параметры и качество выполнения заданных выключателю функций может послужить основой не только разработки новых принципов и создания нового типа элементов, но и улучшения существующих элементов и устройств оперативного контроля и сигнализации об авариях.

Практическая ценность настоящей работы: предложена методика количественной оценки в реальном времени степени ухудшения свойств вакуумного выключателя и других элементов – компонентов кластерной сети системы электропитания.

**Заключение.** Предложенная методика оценки состояния элементов и вкпе кластерной системы электропитания в целом позволяет сформировать план мероприятий по обслуживанию, замене или модернизации в том числе и отдельных элементов системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Методические указания по устойчивости энергосистем: приказ Минэнерго РФ №277 от 30.06.03. -М.: Минэнерго, 2003. - 14 с.
- 2 Анализ неоднородностей электроэнергетических систем / О.Н. Войтов, Н.И. Воропай, А.З. Гамм, И.И. Голуб, Д.Н. Ефимов. -Новосибирск: Наука, 1999. -256 с.
- 3 Lachs, W.R. Voltage instability in interconnected power systems: a simulation approach / W.R. Lachs // IEEE Transaction on Power Systems. 2002. -Vol.7, №2. -P. 753-761.
- 4 Coordinated voltage control in transmission networks. Task Force C 4.602, CIGRE, 2007. -230 p.
- 5 Слободян, С.М. Оценка смещения осей контакта вакуумного выключателя / С.М. Слободян, Ю.П. Усов // Науч. пробле-

мы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 339-343.

6 Серпинский, В.Ф. О теории множеств / В.Ф. Серпинский. -М.: Просвещение, 1966. -62 с.

7 Кобышева, Л.К. Основы теории нечётких множеств / Л.К. Кобышева, Д.М. Назаров. -СПб.: Питер, 2011. -192 с.

8 Круглов, В.В. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Длин, Р.Ю. Голунов. -М.: Физматлит, 2001. -224 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вакуум, электрический контакт, коммутатор, оценка

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Слободян Степан Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

## ПОСТРОЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА РАЗРЕЖЕНИЯ В ТОПКЕ КОТЛОАГРЕГАТА С УПРАВЛЯЕМЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

ОАО «Сибирская энергетическая компания»  
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**М.А. Марченко, Г.М. Симаков**

**BUILDING OF THE NONLINEAR REGULATOR OF RAREFACTION IN BOILER UNIT FIREBOX WITH THE OPERATED ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE**

Siberian energy company  
Novosibirsk state technical university

M.A. Marchenko, G.M. Simakov

Work of a control system as underpressure boiler unit in view of nonlinearity object of regulation is considered.

*Keywords: system of regulation, firebox the steam boiler, nonlinearity*

Рассмотрена работа системы управления разрежением в топке котлоагрегата с учетом нелинейностей объекта регулирования.

В барабанном котле имеются два взаимодействующих потока: поток рабочего тела и поток образующегося в топке теплоносителя. Основная задача управления технологическим процессом в паровом барабанном котле сводится к необходимости поддержания материального и энергетического балансов в нем. Косвенным показателем которого является разрежение в верхней части топки [1].

Разрежение в топке на требуемом уровне обеспечивается изменением производительности дымососов. Из множества распространенных способов изменения производительности дымососа самым экономичным, является использование управляемого асинхронного электропривода. При построении любого электропривода, в том числе и дымососов, необходимо в первую очередь правильное и наиболее точное математическое описание объекта.

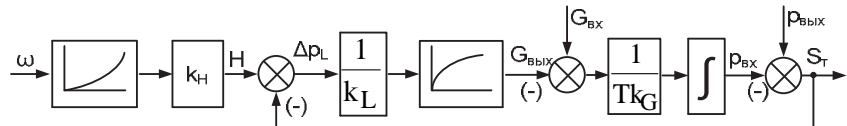


Рисунок 1 – Модель тракта регулирования разрежения в топке

Математическое описание объекта регулирования (рисунок 1), имеет существенные нелинейности. Зависимость напора  $H$ , создаваемого дымососом, от скорости  $\omega$  носит квадратичный характер

$$H = k_H \omega^2, \quad (1)$$

где  $k_H$  – коэффициент напора создаваемого дымососом.

Весовой расход газов перемещаемых по тракту  $G_{\text{вых}}$  определяется следующим выражением

$$G_{\text{вых}} = \sqrt{\frac{\Delta p_L}{k_L}}, \quad (2)$$

где  $\Delta p_L$  – потери давления в тракте;

$k_L$  – коэффициент пропорциональности между весовым расходом и потерями давления в тракте.

Для более адекватного отражения свойств системы регулирования разрежения в топке

котлоагрегата, с применением управляемого асинхронного электропривода, произведем учет нелинейностей объекта (1) и (2).

Как известно коэффициент передачи любого звена равен отношению сигнала на выходе к сигналу на входе. На основании этого коэффициент передачи звена, определяющего зависимость напора от скорости,  $k_{HW}$  можно выразить следующим образом

$$k_{HW} = \frac{H}{\omega}, \quad (3)$$

Запишем (3) с учетом (1)

$$k_{HW} = \frac{H}{\omega} = \frac{k_H \omega^2}{\omega} = k_H \omega. \quad (4)$$

Исходя из приведенного выше утверждения определим коэффициент передачи звена определяющего зависимость весового расхода газов от потерь давления в тракте

$$k_{LW} = \frac{G_{\text{вых}}}{\Delta p_L}. \quad (5)$$

Для определения  $G_{\text{вых}}$  возведем обе части выражения (2) в квадрат и разделим на  $G_{\text{вых}}$

$$G_{\text{вых}} = \frac{\Delta p_L}{k_L G_{\text{вых}}}. \quad (6)$$

Заменяя в (5)  $G_{\text{вых}}$  выражением (6) получаем:

$$k_{LW} = \frac{G_{\text{вых}}}{\Delta p_L} = \frac{\Delta p_L}{k_L G_{\text{вых}} \Delta p_L} = \frac{1}{k_L G_{\text{вых}}}. \quad (7)$$

С использованием выражений (4), (7) составим передаточную функцию тракта учитывая что  $\omega = \omega_t$ .

Применение стандартных П; ПИ и ПИД регуляторов не позволяет учесть нелинейности в тракте регулирования разрежения котлоагрегата и как правило дает удовлетворительные результаты лишь в ограниченной части диапазона регулирования разрежения. В работе [2] предлагается для системы регулирования разрежения применить регулятор, синтезированный модифицированным модальным методом. Регулятор состоит из двух составляющих: последовательного звена  $W_s(p)$  на входе, корректор статики, и звена в цепи локальной обратной связи с передаточной функцией  $W_d(p)$  – корректор динамики [3].

При использовании электропривода работающего на характеристиках ортогональных вентиляторной характеристике нагрузки обеспечивается приблизительное постоянство коэффициентов динамического звена, описывающего электропривод, в рабочем диапазоне скоростей [4]. Таким образом, электропривод, в системе регулирования разрежения, можно представить динамическим звеном первого порядка

$$W_o(p) = \frac{K_{эд}}{T_{эд}p + 1}. \quad (8)$$

В общем виде структурная схема системы регулирования разрежения в топке с использованием фильтра Калмана-Бьюсси будет иметь виде представленный на рисунке 2. На рисунке 2 обозначено:

$K_p$  – датчик разрежения;

$W_o(p)$  – передаточная функция электропривода дымососа (скорость асинхронного двигателя регулируется частотным способом с векторным управлением);

$W_m(p)$  – передаточная функция котла по тракту разрежения;

$W_s(p)$  – корректор статики регулятора разрежения

$$W_s(p) = \frac{K_s}{p};$$

$W_d(p)$  – корректор динамики регулятора разрежения

$$W_d(p) = \frac{d_1 p + d_0}{K_3 K_4};$$

$L(p)$  – стабилизирующая добавка

$$L(p) = \frac{K_{LF}(\tau_1 p + 1)}{\tau_2 p + 1};$$

$W_o(p)$  – модель объекта

$$W_o(p) = \frac{K_{об}}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1};$$

где  $T_1 = \sqrt{T_{эд} T_{mw}} = \sqrt{T_{эд} k_L G_{вых} T k_G}$ ;  $T_2 = T_{эд} + T_{mw} = T_{эд} + k_L G_{вых} T k_G$ ;  $K_{об} = -K_{эд} k_H \omega_t$ . (9)

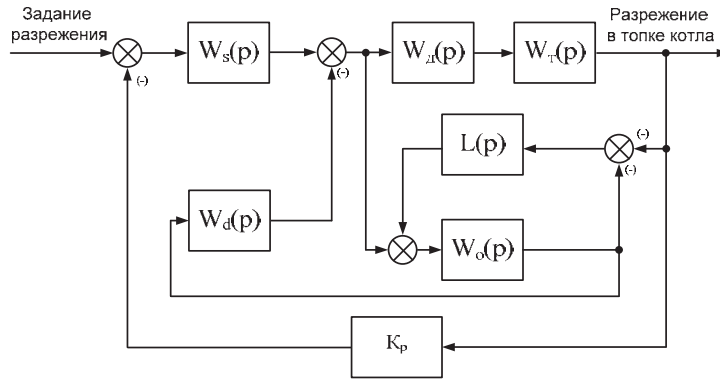


Рисунок 2 – Структурная схема системы регулирования разрежения в топке

Аналитические выражения для определения неизвестных параметров регулятора разрежения  $K_s, d_1, d_2$  имеют вид [2]:

$$d_1 = c_1 T_1^2 - T_2; \quad d_0 = c_2 T_1^2 - 1; \quad K_s = \frac{c_3 T_1^2}{K_{об} K_p}. \quad (10)$$

Характеристическое уравнение системы составлено согласно структурной схеме рисунок 2. Расчет параметров корректоров статики и динамики проведен по выражениям (10) и с учетом (9)

$$d_1 = k_L G_{вых} T k_G (c_1 T_{эд} - 1) - T_{эд}; \quad d_0 = c_2 T_{эд} k_L G_{вых} T k_G - 1; \quad K_s = \frac{c_3 T_{эд} k_L G_{вых} T k_G}{-K_{эд} k_H \omega_t}. \quad (11)$$

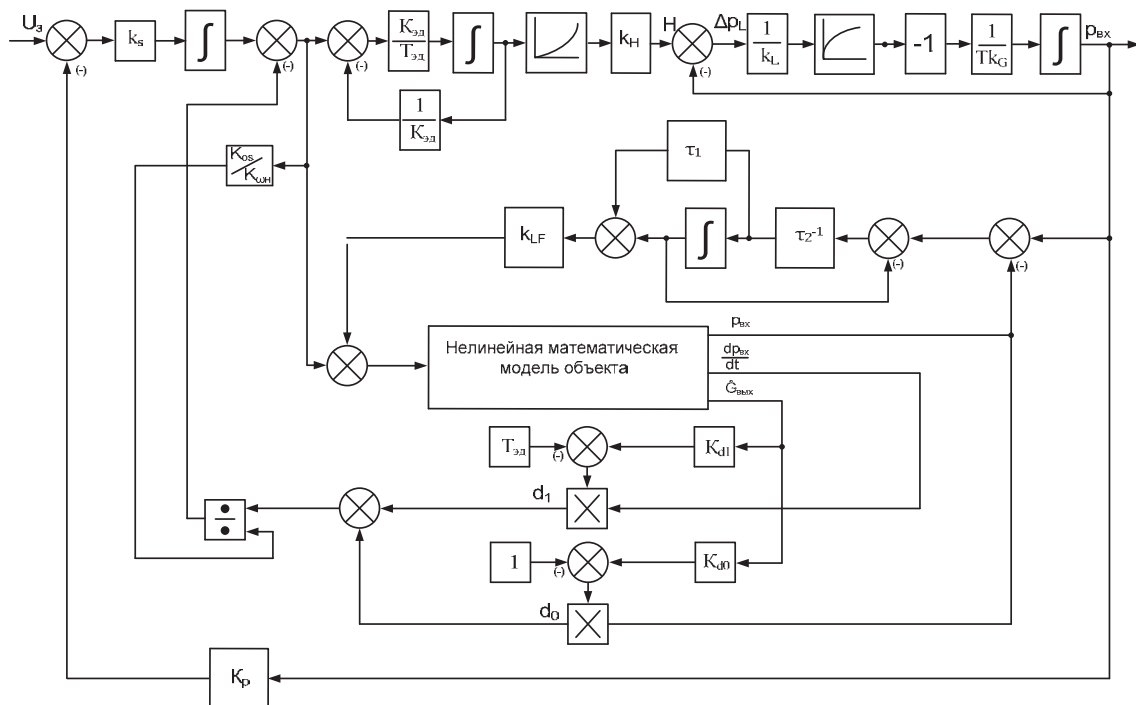
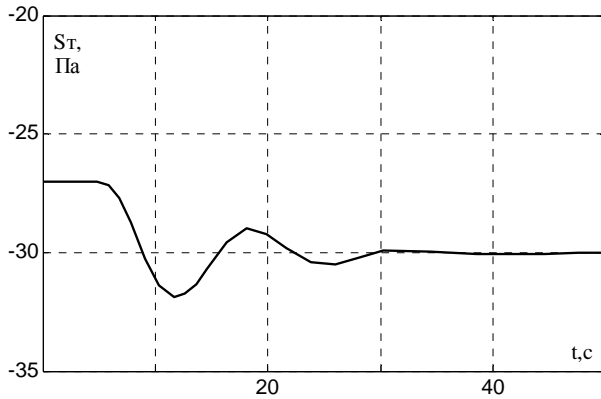


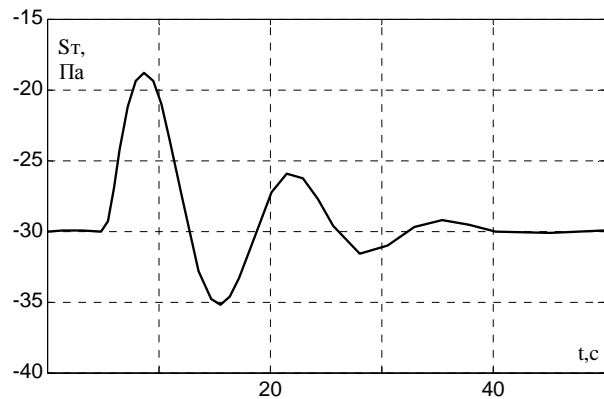
Рисунок 3 – Структурная схема системы регулирования разрежения с учетом нелинейностей объекта:  $K_{д1} = k_L T k_G (c_1 T_{эд} - 1)$ ;  $K_{д0} = c_2 T_{эд} k_L T k_G$ ;  $K_{ос} = K_{эд} k_H$

Структурная схема системы регулирования с учетом нелинейностей объекта (рису-

нок 3), составлена с использованием выражений (11) и структурной схемы см. рисунок 2. На основании структурной схемы (рисунок 3) в среде MATLAB составлена модель и проведено исследование работы системы регулирования разрежения в топке котла ТП-81 с регулируемым асинхронным электроприводом тягодутьевых машин. Результаты моделирования работы системы с предложенным регулятором, учитывающим нелинейности объекта, приведены на рисунок 4 и 5.



*Рисунок 4 – Переходные процессы при увеличении управляющего воздействия на 10%*



*Рисунок 5 – Переходные процессы при возмущающем воздействии увеличением нагрузки котлоагрегата на 10%*

Анализ результатов работы системы показал, что при использовании предложенного регулятора, учитывающего нелинейности объекта, в системе появляется небольшая колебательность. Однако время переходных процессов уменьшается как при управляющем воздействии, так и при возмущающем воздействии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учеб. для студентов вузов / Г.П. Плетнев. -М.: Издат. дом МЭИ, 2007. -352 с.
- 2 Симаков, Г.М. Система автоматического регулирования разрежения в топке парового котла барабанного типа с управляемым асинхронным электроприводом / Г.М. Симаков, М.А. Марченко // Наука, техника, упр.: науч. информ. сб. -2010. -№8. -С. 35-37.
- 3 Востриков, А.С. Теория автоматического регулирования: учеб. пособие / А.С. Востриков, Г.А. Французова. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. -368 с.
- 4 Симаков, Г.М. Способ построения регулируемого асинхронного электропривода с вентиляторной нагрузкой / Г.М. Симаков, М.А. Марченко // Электротехника, электромеханика и электротехнологии: ЭЭЭ-2009. Материалы четвертой науч.-техн. конф. с междунар. участием / Новосиб. гос. техн. ун-т. -Новосибирск, 2009. -С. 159-165.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система регулирования, котлоагрегат, нелинейность  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Марченко Михаил Александрович, инженер ОАО «СИБЭКО»  
 Симаков Геннадий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 630099, г.Новосибирск, ул.Чаплыгина, 57, ОАО «СИБЭКО»

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ТОКА В ДВУХСТУПЕНЧАТОМ ВЗРЫВНОМ РАЗМЫКАТЕЛЕ**

**ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**

**Е.В. Тарасов**

**REGULARITIES OF PROCESS OF SWITCHING OF CURRENT IN A TWO-LEVEL EXPLOSIVE BREAKER**  
 National research Tomsk polytechnic university  
 E.V. Tarasov

Physical processes in an intercontact interval of an explosive breaker are considered. Experimental data of their influence on restoration of electric durability are obtained.

*Keywords: explosive breaker, the intercontact interval, the being restored electric durability*

Рассмотрены физические процессы в межконтактном промежутке взрывного размыкателя. Получены экспериментальные данные их влияния на восстановление электрической прочности.

Известный способ двухступенчатого размыкания высоковольтной электрической цепи [1] наиболее эффективно реализуется в комбинации с быстродействующим взрывным размыкателем. Быстрое переключение тока короткого замыкания (КЗ) во взрывающуюся проволочку [2] и следующее затем формирование длинной дуги обеспечивает ограничение тока практически на уровне уставки срабатывания аппарата и отключение цепи за полторы-две миллисекунды.

С точки зрения токоограничивающей и отключающей способности двухступенчатого размыкателя сечение взрывающейся проволочки должно быть как можно меньше (длина же ее выбирается из условий создания требуемого для отключения напряжения на электрической дуге). Но малое сечение проволочки – это и малое время нагрева до разрушения, сопровождаемого импульсом перенапряжения. Следовательно, требуется найти оптимум в геометрических размерах проводника. С одной стороны пик перенапряжения на взрывающейся проволочке не должен привести к пробоев межконтактного промежутка первой ступени, а с другой стороны длинная дуга второй ступени взрывного размыкателя должна обеспечить эффективное ограничение аварийного тока.

Второй практический вопрос, возникающий при такой конфигурации аппарата, состоит в способе подключения второй ступени. Если вторую ступень жестко подключить к выводам, то параллельный силовым контактам проводник в процессе пропускания номинального тока электроприемника будет нагреваться, что неизменно уменьшит время до начала его разрушения. Следовательно, для хорошего прогнозирования работы аппарата и стабильных характеристик отключения между взрывающимся проводником и силовой цепью должен быть некий ключ, срабатывающий при разрушении силовой цепи первой ступени взрывного размыкателя.

Независимые переменные и закономерности формирования импульса перенапряжения при взрыве проволочки в масле получены автором в [2]. Согласно этих данных напряжение на проволочке на стадии разрушения зависит от длины последней и плотности тока. Время же до начала разрушения (и, соответственно, пика перенапряжения) определяется материалом проволочки и той же плотностью тока

$$U_m = I(-0,29 \times 10^{-17} j^2 + 5,25 \times 10^{-6} j). \quad (1)$$

Исследовательская задача создания двухступенчатого взрывного размыкателя заключается в координации первого импульса перенапряжения второй ступени размыкателя с восстанавливающейся электрической прочностью увеличивающегося межконтактного промежутка первой. В плане ее решения требуется получить зависимость скорости нарастания электрической прочности межконтактного промежутка первой ступени двухступенчатого взрывного размыкателя.

Динамика разрушения токовода одноступенчатого взрывного размыкателя (коммутатора) подробным образом исследована в [3]. Там же установлено, что на начальном этапе отключения на образующуюся дугу действует высокоскоростной поток трансформаторного масла. Он то и определяет как рост напряжения на дуге отключения, так и восстановление электрической прочности межконтактного промежутка. В [4] приведена более сложная но более точная зависимость скорости движения токовода от параметров снаряжения одноступенчатого аппарата. Это означает, что для каждого класса номинального напряжения и номинального тока аппарата (сечения, массы и высоты разрушаемой вставки) рассчитывается требуемая масса заряда взрывчатого вещества, а в дальнейшем, скорость движения токовода и потока масла. С учетом данных, полученных автором в [5] можно рассчитать градиент пробивного напряжения первой ступени двухступенчатого взрывного размыкателя при бестоковом размыкании цепи

$$E_{np} = \left[ 223 \left( 0,29D \frac{m_3}{m_M} + 0,00289 \right)^{-0.21} - 72,102 \right] 10^6, \text{ кВ/мм}, \quad (2)$$

где  $m_3, m_M$  – массы заряда взрывчатого вещества и разрушаемого токовода;

$D$  – внутренний диаметр разрушаемого токовода.

В реальных условиях при присоединении взрывающегося проводника параллельно контактам первой ступени через ключ, на стадии разрыва цепи дуга в первой ступени может кратковременно формироваться. Это вносит некоторые коррективы в идеализированное представление о составе и электрофизических характеристиках среды в образующемся межконтактном промежутке первой ступени. Для выяснения истинной картины изменения



восстанавливающейся электрической прочности проведена серия экспериментов.

Исследования проводились на макете (рисунок 1) двухступенчатого взрывного размыкателя, подвижный шток которого создавал цепь разрядного тока при соприкосновении с взрывной камерой. В цепь между электродами 1 и 6 включался генератор импульсных токов (ГИТ). Параллельно контактам 1 и 6 через управляемый разрядный промежуток (ключ) включалась взрывающаяся проволочка.

Такая схема включения взрывающейся проволочки обеспечивала регулирование времени горения дуги на контактах первой ступени и, соответственно, выделяющуюся в дуге энергию. Длина взрывающегося проводника выбиралась таким образом, чтобы генерируемый импульс перенапряжения имел достаточную для пробы межконтактного промежутка амплитуду. Сечением проволочки задавалось время до зондирования промежутка.

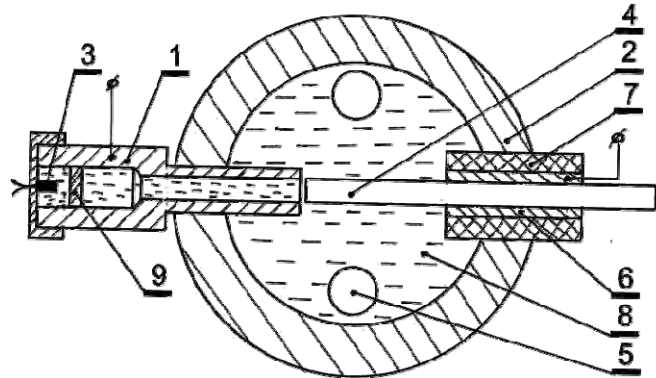


Рисунок 1 – Макет первой ступени двухступенчатого взрывного размыкателя: 1- взрывная камера; 2-корпус размыкателя; 3- заряд взрывчатого вещества; 4-подвижный шток; 5-воздушное включение; 6-направляющая гильза; 7-изолятор; 8- трансформаторное масло; 9-поршень

Осциллограммы процесса переключения тока, пробы и повторного зажигания дуги в размыкателе представлены на рисунке 2. По осциллограммам определялась величина восстанавливающейся электрической прочности и время задержки зондирующего импульса. Одна из полученных в экспериментах кривых  $U_{вн}$  нанесена на осциллограмме. Разброс пробивных напряжений не превысил 15%, что свидетельствует о хорошей повторяемости процесса.

В ходе экспериментов наряду с изменением сечения параллельного проводника варьировалось соотношение  $R_0/R_{пров}$  -сопротивления дуги и проволочки, что в свою очередь влияло на время переключения тока в параллельную ветвь и его производную на преднулевом интервале. Так воспроизводились условия, близкие к реальным, возникающим при защите электропотребителя от тока КЗ. Полученное семейство прочностных характеристик ограничено кривыми (рисунок 4). Как видно из графика, они состоят из двух участков, первый из которых определяется восстановлением диэлектрических свойств остаточного дугового ствола, а второй-поток трансформаторного масла. Использование покадровой фоторегистрации [5] процесса движения подвижного штока с привязкой по времени кадров к осциллограммам дало возможность установить путь пробы. Как оказалось, на небольших временах переключения (10-30 мкс) пробивается остаточный дуговой ствол. На более поздних стадиях процесса переключения слабым местом в межконтактном промежутке становится поток трансформаторного масла, и пробой происходит по потоку. Пробивное напряжение стабилизируется в течение всего времени истечения трансформаторного масла. Причем значения градиента пробивного напряжения согласуются с данными работы [5].

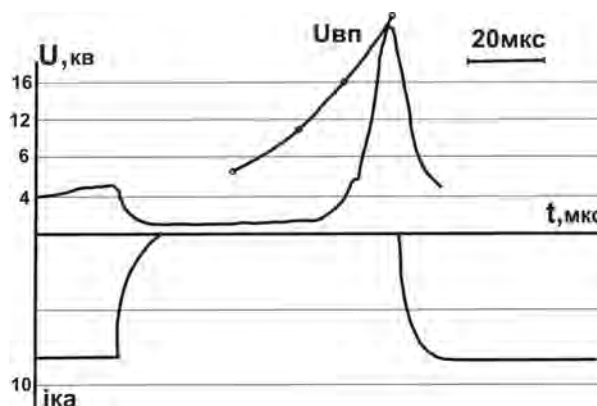


Рисунок 3 – Осциллограммы процесса переключения тока, пробы и повторного зажигания дуги

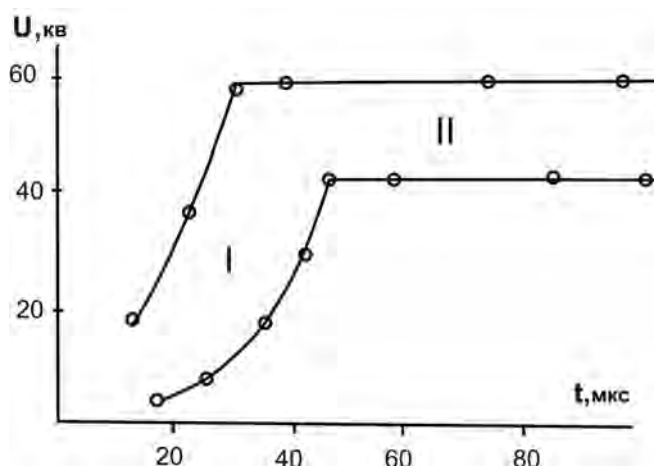


Рисунок 4 – Восстановление диэлектрической прочности межконтактного промежутка

В итоге полученные экспериментальные результаты позволяют перейти к следующему этапу – выбору основных конструктивных размеров двухступенчатого взрывного размыкателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электрические и электронные аппараты / Ю.К. Розанов [и др.]. -М.: Информэлектро, 2001. -420 с.
- 2 Тарасов, Е.В. Характеристики электрического взрыва проводника в трансформаторном масле / Е.В. Тарасов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 343-347.
- 3 Корольков, В.Л. Исследование образования межконтактного промежутка во взрывном коммутаторе / В.Л. Корольков, А.А. Сивков // Электротехника. -1983. -№4. -С. 21-23.
- 4 Корольков, В.Л. Исследование и расчет процесса образования межконтактного промежутка во взрывных выключателях / В.Л. Корольков, А.Е. Нестеренко, А.А. Сивков // Изв. высш. учеб. заведений. Электромеханика. -1986. -№1. -С. 81-87.
- 5 Тарасов, Е.В. Диэлектрическая прочность трансформаторного масла в межконтактном промежутке взрывного дугогасительного устройства / Е.В. Тарасов // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. -2008.-№9/10. -С. 98-104.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** взрывной размыкатель, межконтактный промежуток, восстанавливающаяся электрическая прочность

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Тарасов Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МАЛОМОЩНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

А.Н. Шпиганович, Н.А. Шаратов

### ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY FOR LOW-POWER ENTERPRISES

Lipetsk state technical university

A.N. Shpiganovich, N.A. Sharapov

The article details the use of alternative energy sources in the enterprises of small capacity.

Keywords: alternative energy, electricity, solar panel, efficiency, wind turbine, heat pumps

Подробно рассматривается применение источников альтернативной энергии на предприятиях малой мощности.

В связи с экономической нецелесообразностью использования электросетей для энергообеспечения малых предприятий, удаленных от населенных пунктов и находящихся вдали от линий электропередач, применение альтернативных источников энергии представляется более выгодным. В настоящее время к известным альтернативным источникам относятся: солнечные батареи; ветроустановки; мини-электростанции; тепловые насосы; активные молниеотводы и др.

Чтобы воспользоваться энергией солнца на предприятиях устанавливают солнечные батареи. Используется процесс преобразования световой энергии в электрическую, который называется не иначе, как фотоэлектрическим эффектом. Для ныне выпускающихся солнечных батарей прямые солнечные лучи не нужны. Чтобы их использовать вполне достаточно

дневной свет. Облачная погода, пасмурный день или осадки – им не помеха. Применяются и многослойные солнечные элементы, способные преобразовывать не только видимую часть солнечного излучения, но ультрафиолетовый и инфракрасный диапазон спектра излучения. Они уже обладают коэффициентом полезного действия порядка 40%, а в перспективе он может достичь 50% и более. Цена солнечного электричества имеет тенденцию к снижению, а в ближайшее время может составить 50% стоимости электричества из «розетки». При этом концентрация энергии солнечной панели способствует снижению ее веса и стоимости. Причем энергии от нее будет достаточно для потребителя относительно небольшой мощности. Такие солнечные панели могут также работать и в ночное время.

Для применения энергии ветра устанавливаются ветряки. Существуют два вида ветровых электростанций: с горизонтальной и вертикальной осью вращения пропеллера. Вторые, несмотря на то, что генератор у них находится под мачтой, и нет необходимости ориентировать конструкцию на ветер – менее популярны. Для их работы требуются более сильные ветра и внешний источник для запуска. Основными критериями для объективного сравнения ветрогенераторов, выпускаемых различными производителями являются: коэффициент использования ветра; соотношение стоимости ветрогенератора к годовой выработке электроэнергии; периодичность сервисного обслуживания; надежность работы; срок эксплуатации ветровой электростанции; безопасность эксплуатации; время выполнения заказа.

Ветровая электростанция, какой бы мощности она ни была, построенная примерно одинаково: мачта, на вершине которой устанавливается контейнер с генератором и редуктором, редуктор оснащен лопастями. Контейнер закреплен подвижно и способен разворачиваться вслед за ветром. Выбирая ветряк, нужно в первую очередь определиться – для каких целей он будет служить, и сколько энергии рассчитывается от него получить. К плюсам ветровых электростанций можно отнести то, что они не загрязняют окружающую среду, им не нужно топливо а, при определенных условиях, могут конкурировать с традиционными источниками энергии. К сожалению, ветер от природы нестабилен, что затрудняет работу ветровых электростанций. Начальная скорость ветра, при которой ветряк начинает выработку электроэнергии составляет 1-3 м/с. Номинальная мощность достигается только при оптимальной скорости ветра конкретной модели (10-12 м/с). Важным моментом при выборе модели является среднегодовая скорость ветра в данном регионе. При скорости 4 м/с для небольшого дома нужен агрегат мощностью 4 кВт. Для накопления энергии, равномерной и стабильной работы электрики используются аккумуляторы. Они раз в 12-15 лет требуют замены. Мощные ветровые электростанции создают шумы. Устанавливать их нужно на таком расстоянии от зданий, чтобы уровень шума не превышал 40 дБ. Ветровые электростанции способны создавать помехи работе радио и телевизора. Использование тихоходного электрогенератора на постоянных магнитах, позволяет обходиться без редуктора, что минимизирует потери и шум, увеличивается и надежность их работы. Энергоэффективность (коэффициент использования ветра) «самолетного» профиля лопасти примерно в 2-4 раза выше, чем если бы она имела плоский профиль.

Для малой гидроэнергетики необходимы: небольшие реки, ручьи; естественные перепады высот на озерных водосбросах и на оросительных каналах ирригационных систем; технологические водотоки (промышленные и канализационные сбросы); перепады высот питьевых трубопроводов, систем водоподготовки и других трубопроводов, предназначенных для перекачки различных видов жидких продуктов. Использование мини-ГЭС позволяет зафиксировать стоимость энергоресурсов на приемлемом для потребителя уровне, решает проблему перебоев электроэнергии. Преимущества микро- и мини-ГЭС: отсутствует нарушение природного ландшафта и окружающей среды в процессе строительства и на этапе эксплуатации; отсутствует отрицательное влияние на качество воды: она не теряет первоначальных природных свойств и может использоваться для водоснабжения населения; практически отсутствует зависимость от погодных условий; обеспечивается подача потребителю дешевой электроэнергии в любое время года; отсутствуют проблемы, характерные крупной гидроэнергетике (строительство сложных и дорогостоящих гидросооружений, затопление местности и т.п.).

Тепловой насос может использовать тепловую энергию любой среды – земли, воды, воздуха. Рассмотрим вариант – использование тепла земли, как наиболее подходящий для средней полосы России. Принцип работы теплового насоса в этом случае будет таков. Для «извлечения» тепла из земли используется хладагент – газ с низкой температурой кипения. Хладагент в жидком состоянии проходит по системе труб, закопанных в землю. Температура

земли на глубине более 1,5 м одинакова летом и зимой и равна 8 °С. Такой температуры хватает, чтобы проходящий в земле хладагент «закипел» и перешел в газообразное состояние. Этот газ всасывается компрессорным насосом, в этот момент происходит его сжатие и выделение тепла. Тепловая энергия поступает на теплообменник, нагревая теплоноситель (воду) системы отопления. Отдавая тепло, хладагент остывает, и с помощью расширительного клапана вновь переводится в жидкое состояние. Цикл замыкается. Основные преимущества использования тепловых насосов для отопления: экономичность. Единственные затраты энергии, которые требует эта технология – электричество на работу компрессора; автономность. Их использование для отопления не требует подведения газа, доставка угля или заготовка дров, также не требуется согласования проектов и получения разрешений на их применение. В современном тепловом насосе в качестве хладагента используется углекислота и углеводороды, не причиняющие вреда человеку и окружающей среде; безопасность. В отличие от газового отопления (а также от дровяного и угольного) здесь нет температур выше 60-70 °С, поэтому достигается практически 100%-я пожаро- и взрывобезопасность; универсальность. Тепловой насос можно использовать как отдельно, так и совместно с газовым и любым другим отоплением, а также в качестве системы кондиционирования.

Метан весьма распространен на планете – это природный газ. Он содержится в залежах каменного угля и нефти, есть в болотах и некоторых типах почвы. Его можно получить при химических реакций. Метан образуется во время жизнедеятельности живых организмов. Метан выделяется при различных процессах гниения и анаэробного разложения органических масс. Метан можно накапливать в местах скопления органических отходов. В случае достижения его концентрации в 9,5% становится чрезвычайно взрывоопасным. В замкнутом пространстве этот газ способен концентрироваться, а при нарушении герметичности возможен его взрыв. Выгодно переоборудовать существующие мусоросборную и канализационные системы, установив там специальные насосы для откачки метана. Затем, сжигая его, используя электрогазоустановки, получают электрическую энергию.

Чтобы использовать альтернативные источники энергии на малом предприятии (птицеферма, предприятия животноводства и другие сельскохозяйственные предприятия) в нашем регионе (Липецкая область) необходимо рассмотреть все варианты альтернативной энергии. В связи с климатическими условиями региона Черноземья (количество солнечных дней в году – 120; среднегодовая скорость ветра 4,1 м/с) использование солнечных батарей и ветряков ограничено. Более целесообразным является применение электроэнергии, получаемой при сжигании органических отходов предприятий сельскохозяйственного назначения. Наиболее целесообразным на наш взгляд является комплексное применение альтернативных источников энергии. Однако этот вопрос является достаточно сложным. Он требует экономической проработки. Для этой цели для Липецкой области на основании статистических результатов построена таблица, в которой приведены климатические данные.

*Таблица – Климатические данные городов Липецкой области*

Название города	Количество солнечных дней в году	Среднегодовая скорость ветра, м/с
Липецк	117	2,2
Лев Толстой	115	3,4
Елец	114	2,7
Хлевное	116	4,1

Различие солнечных дней по городам Липецкой области крайне не значительно. Использование солнечных батарей во всех городах можно считать одинаково возможно. Согласно среднегодовой скорости ветра, применение ветряков не одинаково эффективно. В малых населенных пунктах отсутствуют многоэтажные строения и скорость ветра более высокая. Если в городах присутствуют какие-либо возвышенности, то им отдается предпочтение при установке ветряков. Использование мини- ГЭС выгодно в тех городах или населенных пунктах, где рядом располагаются реки (г. Лебедянь, Данков, Елец, Задонск, Ратчино и др.). Установка тепловых насосов требует более глубокого исследования, что мешает сделать выводы: где выгодно их использование, а где нет.

Для полного представления о характере местности, в которой будет работать электрооборудование, следует также учитывать такие природные факторы как атмосферные осадки (дождь, снег, роса, туман), изморозь, гололед, ветер, грозы, промерзание почвы, а также сейсмичность. Атмосфера может оказывать на электрооборудование неблагоприятное

влияние не только вследствие особенностей теплового и влажностного состояния, но также и по агрессивности и электропроводности из-за наличия в ней различных примесей, аэрозолей газового характера и в виде жидких и твердых растворимых и нерастворимых частиц. Повсюду, где не производится ежедневная очистка, пыль, проникая в корпуса оборудования даже через небольшие отверстия, накапливается слоями. В результате в электрических машинах засоряются вентиляционные каналы, чувствительные приборы теряют точность из-за повышенного трения. Пыль, особенно непроводящая, обычно не ухудшает качества изоляции, однако оседая на изоляции и токоведущих частях, она способствует их увлажнению. Гололед и изморозь являются важными факторами климата, подлежащими учету. Изморозь и гололед, сопровождающиеся сильным ветром часто приносят ущерб воздушным линиям, приводя к механическим перенапряжениям и как следствие к обрыву проводов, а в отдельных случаях даже к разрушению опор. Экологические проблемы города связаны с чрезмерной концентрацией на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий, образованием антропогенных ландшафтов, очень далеких от состояния экологического равновесия.

Основные показатели состояния окружающей среды г. Липецка и Липецкой области следующие:

- Средняя годовая температура, °С ..... +7;
- Средняя температура января, °С ..... -10;
- Средняя температура июля, °С ..... +20;
- Амплитуда температурных колебаний в течение года, °С ..... 25-30;
- Распределение осадков по временам года ..... равномерное;
- Среднегодовой уровень осадков, мм ..... 500-600;
- Средняя относительная влажность воздуха, % ..... 75-93;
- Среднегодовое количество грозных дней ..... 40-60;
- Среднее давление ветра, Па ..... 35;
- Средняя толщина ледяного покрова, мм ..... 3-5;
- Промерзание почвы в местах отсутствия снежного покрова, м ..... 1,8-2,0;
- Уровень просыхания почвы, м ..... 0,85-1,00.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шефтер, И.Я. Использование энергии ветра: учеб. пособие / И.Я. Шефтер. -М.: Энергия, 1975.
- 2 Андреев, В.М. Фотозлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / В.М. Андреев, В.А. Грилихес, В.Д. Румянцев. -Л.: Наука, 1989.
- 3 Лобачев, П.В. Насосы и насосные станции: учеб. для техникумов / П.В. Лобачев. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Стройиздат, 1983.
- 4 Бобович, Б.Б. Биогазовая технология переработки отходов животноводства / Б.Б. Бобович, М.Д. Рывкин // Вестн. Моск. гос. индустр. ун-та. -1999. -№1.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *альтернативная энергетика, электроснабжение, солнечная батарея, эффективность, ветряк, тепловые насосы*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Шпиганович Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»  
Шарапов Николай Андреевич, магистрант ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *398600, г.Липецк, ул.Московская, 30, ФГБОУ ВПО «ЛГТУ»*

## **МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА**

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

**С.А. Ступаков, В.М. Филиппов, Е.С. Калинина**

**MODEL OF ELECTROMECHANICAL WEAR OF CONTACT PAIRS OF CURRENT COLLECTION**

Omsk state transport university  
S.A. Stupakov, V.M. Philippov, E.S. Kalinina

In the article are considered the construction of a mathematical model of the electromechanical wear of the elements of contact pairs pantographs electric vehicles.

*Keywords: wear, items contact pairs, mathematical model, pressing in contact, the temperature gradient*

Рассмотрено построение математической модели электромеханического изнашивания элементов контактных пар токосъемных устройств электрического подвижного состава.

Износ контактных пар устройств токосъема зависит не только от механической нагрузки (нажатия в контакте), скорости скольжения, температуры элементов и параметров окружающей среды, но и от токовой нагрузки. Ее влияние может рассматриваться как дополнительный фактор, изменяющий значение механического износа [1].

Изнашивание контактных пар устройств токосъема от воздействия электрического тока можно представить с помощью функциональной зависимости между такими факторами как дугостойкость материала; количество электричества, прошедшее через дугу; длина пути трения; нажатие в контакте; комплекс, учитывающий изменение шероховатости поверхностей; комплекс, учитывающий износ при токовой нагрузке без искрения

$$I_h = \psi_2(\gamma, Q, s, P, g, I_M, I_{E0}, I), \quad (1)$$

- где  $\gamma$  – критерий, характеризующий дугостойкость материала, зависящий от рода тока, времени его протекания через контакт и полярности элемента контактной пары;  
 $Q$  – количество электричества, которое определяется средним значением тока дуги  $I$  и временем ее горения  $t$ ;  
 $s$  – длина пути трения;  
 $P$  – нажатие в контакте;  
 $g$  – комплекс, характеризующий изменение изнашивания материала вследствие повышения шероховатости поверхностей;  
 $I_M$  – интенсивность изнашивания от механической нагрузки (без тока);  
 $I_{E0}$  – интенсивность изнашивания при токовой нагрузке без искрения (зависит от рода тока и поляризации элементов);  
 $I$  – токовая нагрузка.

Подробное описание процессов изнашивания элементов контактной пары при возникновении электрической дуги в контакте и изменении шероховатости их поверхностей выполнено в работе Р. Хольма [2], там же приведена формула для определения электромеханического износа элементов контактной пары. Однако приведенная в работе формула не учитывает физико-механические свойства пары трения (твердость, теплоемкость, теплопроводность и др.). Кроме этого, как показывает анализ результатов эксперимента, значения износа элементов контактных пар зависят от рода тока, плотности тока, поляризации элементов контактной пары, тепловых процессов и т.п. [3].

На основании анализа результатов экспериментальных исследований изнашивания элементов контактных пар от нажатия в контакте и от токовой нагрузки и с учетом работ И.В. Крагельского [4], Э.Д. Брауна [5] и Н. Viesenack [6] получены функционалы и коэффициенты, определяющие электрическую составляющую электромеханического изнашивания с учетом параметров окружающей среды

$$I_E(P) = \left\{ \zeta_1 \xi(\gamma, Q) + \zeta_2 X_1^{k_1} \left[ W_1(P, k_1, k_2) j^{k_3} + \zeta_3 g(P, X_3, X_4, k_4) \sqrt{\frac{Q}{S}} \right] \right\} \vartheta(\phi, \kappa), \quad (2)$$

$$X_1 = \frac{Ptc_2}{r(T_{lh})^2 \rho_1 c_1 \chi}; \quad X_2 = Cu; \quad X_3 = \frac{H_1(T_{lh})}{H_2(T_{lh})}.$$

Окончательно с учетом влияния на износ термического действия токовой нагрузки и параметров внешней среды запишем

$$I_E(P) = \left\{ \zeta_1 \text{Vi} \xi(\gamma, Q, T_{lh}) + \zeta_2 (X_1 \cdot \text{Me})^{k_1} \left[ I_{E0}(P, k_1, k_2) j^{k_3} + \zeta_3 g(P, X_2, X_3, T_{lh}, k_4) \sqrt{\frac{Q}{S}} \right] \right\} \vartheta(Fo_i, \phi, \kappa), \quad (3)$$

где  $\xi(\gamma, Q, T_{lh})$  – интенсивность электроэрозионного изнашивания, линейно зависящая от дугостойкости материала с учетом температурного градиента элемента контактной пары

$$\xi(\gamma, Q, T_{lh}) = \gamma Q(T_{lh}) = \gamma I(T_{lh}) t = \gamma t \frac{U}{R_{\text{конм}}/T_{lh}} = \gamma t \frac{U}{R_0(1 + \alpha_R \Delta T)};$$

$R_0$  – электрическое сопротивление материала при температуре окружающей среды 20 °С;

$\alpha_R$  – температурный коэффициент электрического сопротивления;

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$  – масштабные коэффициенты;

- $k_1$  – функционал, прямо пропорциональный по модулю величине контактного нажатия и логарифмически зависящий от рода тока и поляризации контактного элемента (КЭ);
- $k_2$  – функционал, обратно пропорциональный величине контактного нажатия и логарифмически зависящий от рода тока и поляризации КЭ;
- $k_3$  – коэффициент, учитывающий род тока (переменный или постоянный) и поляризованность КЭ (анодно- или катодно-поляризованный),  $k_3 \in (0; 0,07]$ ;
- $k_4$  – симплекс, учитывающий содержание графита в материале КЭ

$$k_4 \in (0; 1];$$

$g(Fo_i, \varphi, \kappa)$  – функционал, характеризующий состояние окружающей среды (температуру, влажность, запыленность)

$$g(Fo_i, \varphi, \kappa) = \left[ F_{0i} \left( \frac{\varphi_0}{\varphi} \right) \left( \frac{\kappa_0}{\kappa} \right) \right]^{\sigma_m};$$

- $\sigma_m$  – коэффициент, учитывающий изменение параметров внешней среды в зоне контакта

$$\sigma_m \in [-1, 2];$$

$Fo_i$  – критерий Фурье

$$Fo_i = \frac{a_i t_i}{[r(T_{lh})]^2};$$

$a_i$  – коэффициент температуропроводности;

$t_i$  – время изменения внешних условий;

$r(T_{lh})$  – характерный линейный размер, устанавливающий соответствие между темпом изменения условий в окружающей среде и темпом перестройки температурного поля внутри элемента контактной пары).

Итоговая математическая модель представляет собой алгебраическую сумму механической и электрической составляющих изнашивания. Уравнение механического изнашивания элементов контактной пары устройства токосома приведено в [3].

Таким образом, с учетом полученных уравнений можно составить итоговую формулу для расчета интенсивности электромеханического изнашивания элементов контактной пары

$$I_h = I_M + I_E; \tag{4}$$

$$I_h = a_0 \left[ \frac{Ptc_2}{r(T_{lh})^2 \rho_1 c_1 \chi} \right]^{\alpha_m} \left\{ \text{Bi} \left[ \frac{v t}{r(T_{lh})} \right] \right\}^{\beta_m} (Cu)^{\gamma_m} \left[ \frac{H_1(T_{lh})}{H_2(T_{lh})} \right]^{\epsilon_m} \left[ \frac{T_1 \lambda_1}{r(T_{lh}) f_m(T_{lh}) P v} \right]^{\delta_m} \times$$

$$\times \left( \frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\lambda_m} \left( \frac{\kappa_0}{\kappa} \right)^{\omega_m} + \left\{ \zeta_1 \text{Bi}^\xi(\gamma, Q, T_{lh}) + \zeta_2 (X_1 Me)^{k_1} \times \right.$$

$$\left. \times \left[ I_{E0}(P, k_1, k_2) j^{k_3} + \zeta_3 \cdot g(P, X_2, X_3, T_{lh}, k_4) \sqrt{\frac{Q}{s}} \right] \right\} \left[ F_{0i} \left( \frac{\varphi_0}{\varphi} \right) \left( \frac{\kappa_0}{\kappa} \right) \right]^{\sigma_m}. \tag{5}$$

Таким образом, уравнение (5) позволяет выполнять расчет интенсивности электромеханического изнашивания элементов контактной пары. Сравнение результатов расчета, полученных при использовании уравнения (5) и экспериментальных исследований, показывает, что их отклонение составляет не более 6%.

На рисунках 1-3 приведены графики, полученные в результате расчета (механическая и электрическая составляющие изнашивания, суммарный график), и графики, построенные по результатам экспериментальных исследований. Приняты следующие обозначения: 1-результаты расчета механической составляющей изнашивания ( $I = 0$ ); 2-результаты расчета электрической составляющей изнашивания ( $I = 300$  А для КЭ монорельсовой транспортной системы (МТС)); 3-суммарный расчетный график; 4-результаты эксперимента ( $I = 300$  А для КЭ МТС).

Для оценки адекватности определения минимума износа выполним анализ математической модели с помощью дифференцирования.

Исследуем уравнение (5) на экстремум

$$\frac{dl_h}{dP} = \frac{dl_M}{dP} + \frac{dl_E}{dP}, \quad (6)$$

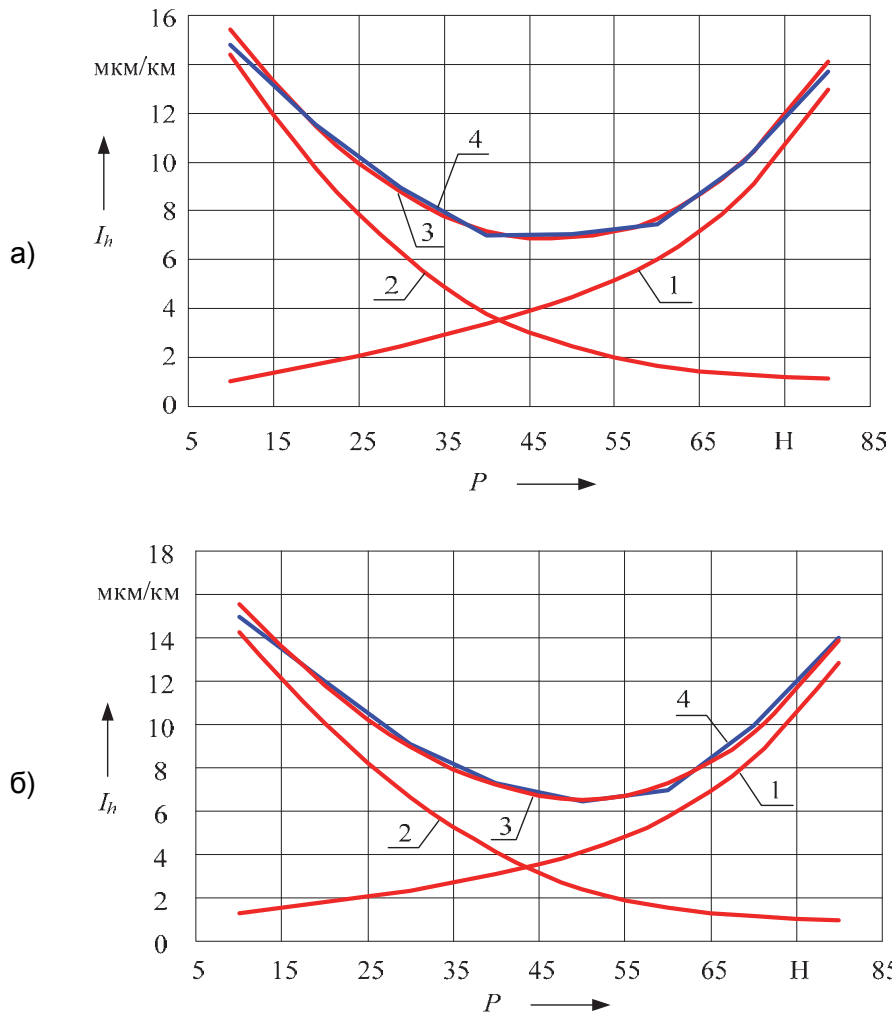


Рисунок 1 – Расчетные и экспериментальные зависимости изнашивания КЭ из меднографитового композита при нормальных условиях окружающей среды: а)-переменный ток; б)-постоянный ток, анодная поляризация

$$\begin{aligned} \frac{dl_h}{dP} = & \left\langle \frac{a_0(P)}{dP} + a_0(P) \left[ \frac{Ptc_2}{r(T_{lh})^2 \rho_1 c_1 \chi} \right]^{\alpha_m(P)} \left\{ \frac{d\alpha_m(P)}{dP} \ln \left[ \frac{Ptc_2}{r(T_{lh})^2 \rho_1 c_1 \chi} \right] + \frac{\alpha_m(P)}{P} \right\} - a_0(P) \right\rangle \times \\ & \times \left\langle \left[ \frac{Ptc_2}{r(T_{lh})^2 \rho_1 c_1 \chi} \right]^{\alpha_m(P)} \left\{ \text{Bi} \left[ \frac{\nu t}{r(T_{lh})} \right] \right\}^{\beta_m} (\text{Cu})^{\gamma_m} \left[ \frac{H_1(T_{lh})}{H_2(T_{lh})} \right]^{\epsilon_m} \left[ \frac{T_1 \lambda_1}{r(T_{lh}) f_m(T_{lh}) P \nu} \right]^{\delta_m} \left( \frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\lambda_m} \left( \frac{\kappa_0}{\kappa} \right)^{\omega_m} \right\rangle + \quad (7) \\ & + \zeta_2 \left[ \left\{ \frac{Ptc_2}{[r(T_{lh})]^2 \rho_1 c_1 \chi} \right\} \text{Me} \right]^{k_1(P)} A \cdot \vartheta(\text{Fo}_i, \varphi, \kappa); \\ A = & \left\{ \frac{dk_1(P)}{dP} \ln \left[ \frac{Ptc_2}{r(T_{lh})^2 \rho_1 c_1 \chi} \right] + \frac{k_1(P)}{P} \right\} \times \left[ \left( I_{E0}(P, k_1, k_2) \right)^{j_{k_3}} + \right. \\ & \left. + \zeta_3 g(P, X_3, X_4, T_{lh}, k_4) \sqrt{\frac{Q}{S}} \right] + \\ & + \left[ \frac{dI_{E0}(P, k_1, k_2)}{dP} \right]^{j_{k_3}} + \zeta_3 \frac{dg(P, X_3, X_4, T_{lh}, k_4)}{dP} \sqrt{\frac{Q}{S}}. \end{aligned}$$

Определим экстремальные значения кривой изнашивания для КЭ в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации

$$\frac{dl_h}{dP} = 0.$$



На рисунке 2 приведены результаты исследования экстремумов интенсивности изнашивания для КЭ МТС (минимум величины нажатия в контакте  $P \in [40;60]$ ).

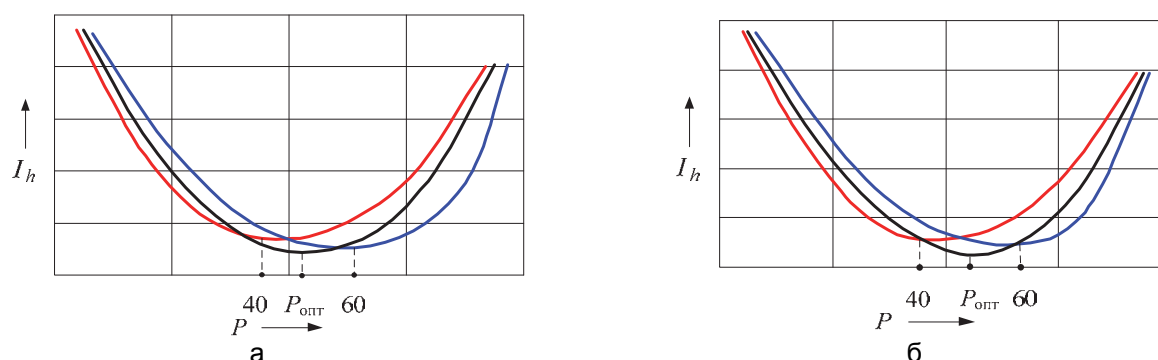


Рисунок 2 – Исследования экстремумов интенсивности изнашивания КЭ МТС: а)-переменный ток; б)-постоянный ток (анодно-поляризованный КЭ)

Таким образом, разработана математическая модель механического и электрического изнашивания элементов контактной пары устройств токосъема электрического транспорта, позволяющая выполнять расчет с учетом влияния параметров окружающей среды (влажности, запыленности), температуры материалов элементов контактной пары, градиента температуры от токовой нагрузки на твердость материалов и фактической (электропроводящей) площади контакта. При этом расхождение результатов расчета и данных эксперимента составляет не более 6%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ступаков, С.А. К вопросу исследования влияния температурных процессов на изнашивание контактных пар устройств токосъема электрического транспорта / С.А. Ступаков, В.М. Филиппов, В.В. Томилов // Europejska nauka XXI wieka – 2012: materiały VIII Międzynar. nauk.-prakt. konf. -Przemysl, 2012. -P. 27-32.  
 2 Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм; пер. с англ. под ред. Д.Э. Брускина, А.А. Рудницкого. -М.: Изд-во иностр. лит., 1961. -464 с.  
 3 Ступаков, С.А. Моделирование электромеханического изнашивания контактных пар устройств токосъема электрического транспорта / С.А. Ступаков, О.А. Сидоров, В.М. Филиппов // Трение и смазка в машинах и механизмах. -2012. -№4. -С. 23-30.  
 4 Крагельский, И.В. О расчете износа поверхностей трения / И.В. Крагельский, Г.М. Харач // Расчетные методы оценки трения и износа. -Брянск, 1975. -С. 5-47.  
 5 Браун, Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э.Д. Браун, Ю.А. Евдокимов, А.В. Чичинадзе. -М.: Машиностроение, 1982. -191 с.  
 6 Biesenack, H. Kontakt zwischen Fahrdrabt und Schleifleiste-Ausgangspunkte zur Bestimmung des elektrischen Verschleißes / H. Biesenack, F. Pintscher // Elektrische Bahnen. -München, 2005. -№3. -P. 138-146.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** изнашивание, элементы контактных пар, математическая модель, нажатие в контакте, температурный градиент

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Ступаков Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
 Филиппов Виктор Михайлович, преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** Калинина Екатерина Сергеевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
 644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

**АНАЛИЗ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗОННЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ**

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**В.В. Иванов, С.В. Мятёж**

**ANALYSIS OF BAND SWITCHING PROCESSES RECTIFIERS**  
 Novosibirsk state technical university  
 V.V. Ivanov, S.V. Mytezh

We consider the analysis of the band rectifier switching processes to improve the energy performance of traction AC rectifiers, elec-tric freight locomotives.

*Keywords: switching, power factor, electric locomotive*

Выполнен анализ коммутационных процессов зонных выпрямителей для повышения энергетических показателей тяговых выпрямителей грузовых электровозов переменного тока.

Зонно-фазовое регулирование напряжения – способ комбинированного регулирования

напряжения на обмотках тяговых трансформаторов ЭПС переменного тока, при котором одновременно применяются переключения секций вторичных обмоток трансформаторов и фазовое регулирование (изменение угла открытия тиристорov выпрямителя). Применяют различные варианты зонно-фазового регулирования напряжения, отличающиеся числом зон и соотношением напряжений в них. В настоящее время большое распространение получили классические четырехзонные регуляторы, собранные на тиристорах по мостовой схеме выпрямления, приведенные на рисунке 1.

Особенности коммутационных процессов в таких схемах требуют вводить искусственную задержку угла открытия тиристорov, что снижает среднее значение коэффициента мощности до 0,8 [1]. Низкие значения коэффициента мощности дополнительно нагружают электрооборудование электровозов и тяговую сеть реактивными токами и увеличивают расход электроэнергии на тягу поездов.

Повышение энергетических показателей можно осуществить благодаря применению более совершенных схемных решений зонных преобразователей и алгоритмов управления тиристорами, для которых не требуется дополнительной задержки, которая ухудшает коэффициент мощности [2]. Примером такой схемы является схема лестничного четырехзонного преобразователя, показанная на рисунке 2. Она не требует дополнительной задержки времени при отпирании тиристорov, приводящей к сдвигу энергетического центра выпрямленного напряжения и тока.

Анализ коммутационных процессов лестничного четырехзонного преобразователя показал, что данный выпрямитель обладает вдвое меньшей продолжительностью коммутационных процессов, чем выпрямитель с мостовой структурой, однако при управлении мощной активно-индуктивной нагрузкой требуется дополнительно предусматривать пути протекания тока нагрузки, используя для этого либо дополнительный обратный диод, либо комбинации открытых тиристорov. При этом необходимо исключить удержание таких тиристорov в открытых состояниях при смене знака фазы или переходе на другую зону, что усложняет алгоритм управления тиристорами.

Данную проблему удалось решить в усовершенствованном варианте четырехзонного выпрямителя с лестничной структурой и новым более простым алгоритмом управления тиристорами.

На рисунке 3 показан пример данного усовершенствованного варианта четырехзонного выпрямителя с лестничной структурой и алгоритм работы преобразователя.

Результаты имитационного моделирования процессов схемы выпрямителя с лестничной структурой, представляют собой волновые диаграммы напряжений во всех интересую-

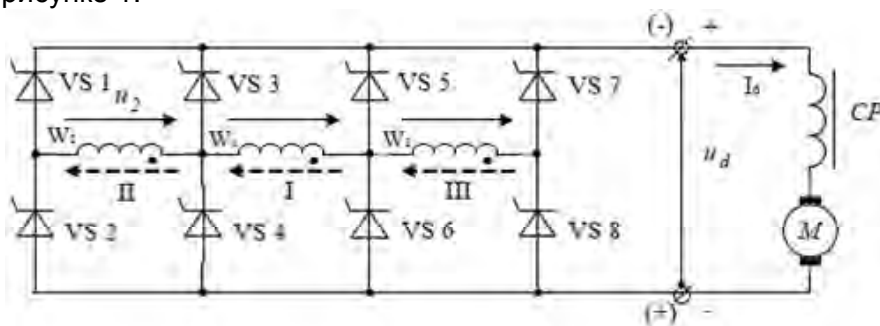


Рисунок 1 – Силовая схема четырёхзонного выпрямителя мостового типа

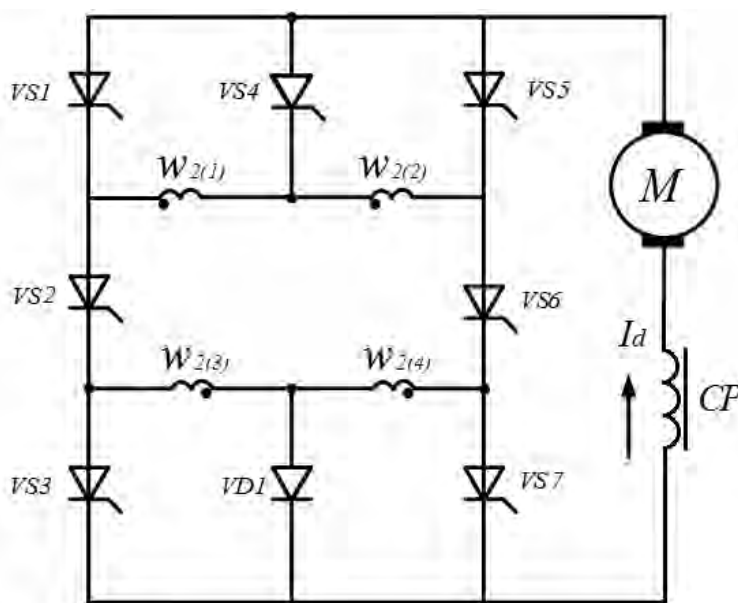


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема четырёхзонного выпрямителя лестничного типа

щих узлах схемы. На рисунке 4 показана диаграмма работы преобразователя на II зоне регулирования.

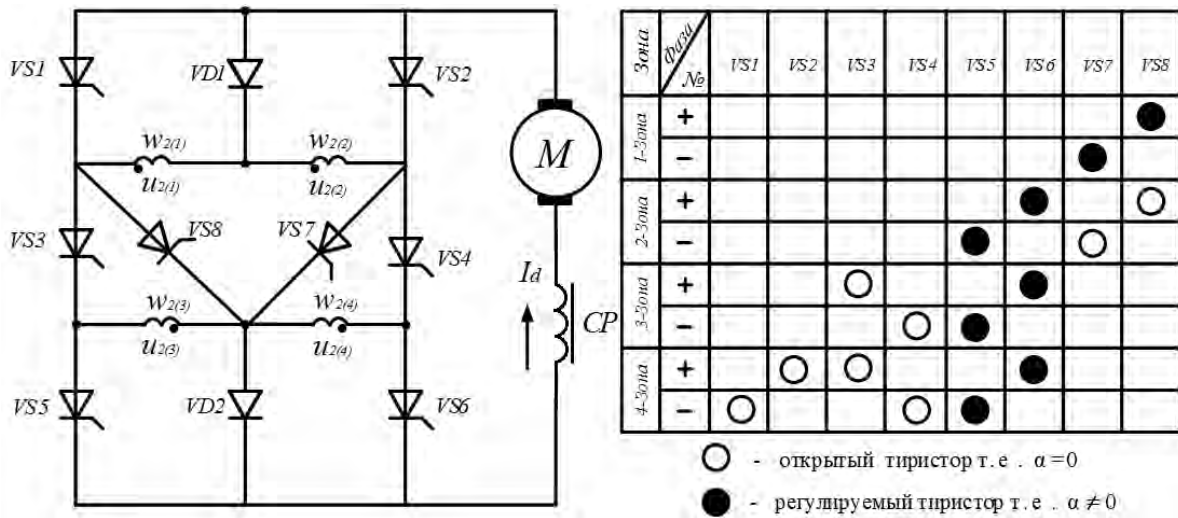


Рисунок 3 – Электрическая схема и алгоритм управления четырехзонного преобразователя лестничной структурой

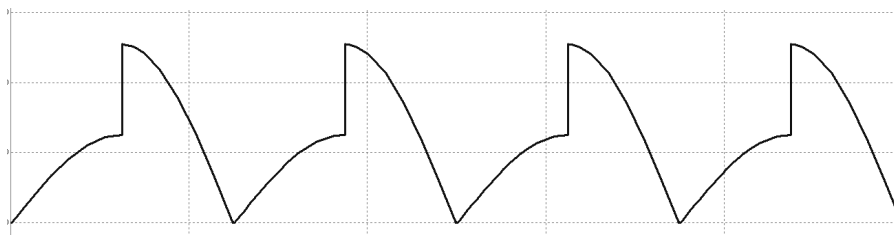


Рисунок 4 – Диаграмма работы преобразователя на II зоне регулирования

Коэффициент мощности выпрямителя определяется отношением активной мощности к полной

$$\chi = \frac{P}{S} = v \cos \varphi, \tag{1}$$

где  $v$  – коэффициент искажения тока;  
 $\cos \varphi$  – коэффициент фазового сдвига.

Наибольшее влияние на коэффициент мощности оказывает коэффициент фазового сдвига основной гармонической составляющих  $\cos \varphi$ .

Коэффициент фазового сдвига основной гармонической составляющих равен

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{\cos \alpha + (2n-1)}{2n} \frac{\sum U_{dy}}{U_{d0}}, \tag{2}$$

где  $\alpha$  – угол открытия тиристора;  
 $n$  – номер зоны;  
 $\sum U_{dy}$  – суммарные коммутационные потери выпрямителя;  
 $U_{d0}$  – среднее значение выпрямленного напряжения

На рисунке 5 приведены зависимости коэффициента фазового сдвига от угла открытия  $\alpha$  для четырех зон выпрямителей. Зависимости, выделенные жирным линиям, соответствуют значениям  $\cos \varphi$  для усовершенствованного зонного выпрямителя с лестничной структурой. Не выделенные линии, соответствуют зависимости  $\cos \varphi$  для четырёх зонного выпрямителя мостового типа.

Из приведенных зависимостей видно, что такой выпрямитель имеет более высокие энергетические показатели, поскольку работает только с одним углом коммутации  $\gamma_1$  по сравнению с мостовым выпрямителем, у которого образуются двойные углы коммутации  $\gamma_1 + \gamma_2$ .

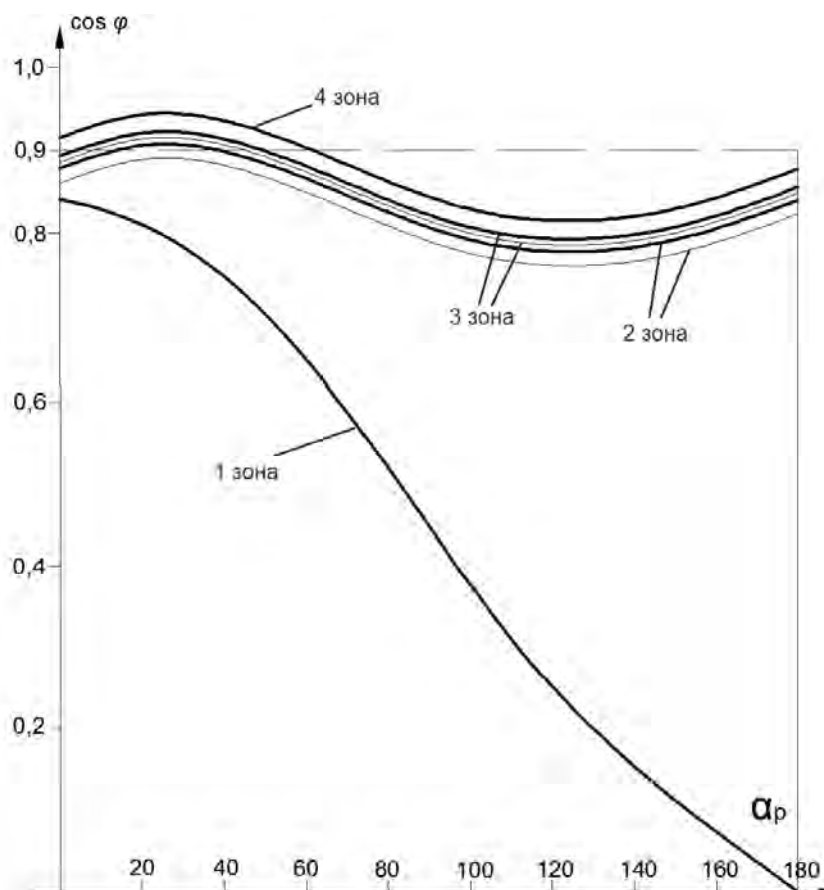


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента сдвига от угла управления

Таким образом, выпрямители с лестничной структурой обладают меньшей общей продолжительностью коммутационных процессов по сравнению с мостовым выпрямителем. Применение рассмотренных выпрямительных агрегатов с лестничной структурой в составе тяговых преобразователей грузовых электровозов переменного тока позволяет повысить энергетические показатели, и прежде всего, коэффициент мощности на 2-4%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Плакс, А.В. Системы управления электрических подвижным составом: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / А.В. Плакс. -М.: Маршрут, 2005. -360 с.  
 2 Мятеж, С.В. Совершенствование зонных выпрямителей / С.В. Мятеж, Н.И. Щуров, М.М. Джаборов // Электромеханика. - 2012. -№6. -С. 40-45.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** коммутация, коэффициент мощности, электровоз  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Иванов Владлен Владимирович, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
 Мятеж Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

## ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, К.Н. Бойко

### THE CONSTRUCTION OF THE MEMBERSHIP FUNCTIONS FOR THE PROBLEM OF FORECASTING THE ENERGY CONSUMPTION

Novosibirsk state technical university  
 V.Z. Manusov, K.N. Boyko

Forecasting forms an integral part of any sphere of human activity. And power is not-etsya exception. Most perspective mathematical apparatus for forecasting is the theory of fuzzy sets.

Keywords: meteorological factors, electricity consumption, fuzzy logic

Прогнозирование составляет неотъемлемую часть любой сферы деятельности человека. И энергетика не является исключением. Наиболее перспективным математическим аппаратом для прогнозирования является теория нечётких множеств.

Для решения задачи прогнозирования электрической нагрузки необходимо как можно больше входных переменных в нечеткой модели прогнозирования. Существенное влияние на электропотребление оказывают метеорологические факторы (МФ) – в первую очередь температура и освещенность, которая в свою очередь сильно зависит от количества осадков, так как в период осадков идёт резкое снижение освещённости. Они в значительной степени определяют глубокие сезонные колебания и суточную неравномерность графиков потребления. Устойчивые сезонные и суточные циклы колебаний МФ и их влияние могут быть представлены в аналитическом виде и использоваться при разработке прогнозов ожидаемых значений потребления на всех циклах планирования и управления режимами [1].

На сегодняшний день основной проблемой ограничивающей применение нечёткой логики для анализа сложных стохастических систем является сложность в построении функций принадлежности для заданного нечёткого множества. Существует множество методов для построения функций принадлежности, которые отличаются по степени сложности и точности. В данной работе рассмотрен алгоритм построения функций принадлежности для нескольких нечётких множеств, основанный на методе экспертных оценок с последующей линейной аппроксимацией полученных функций принадлежности (ФП).

В качестве исходных данных возьмём следующие статистические выборки за 12 месяцев предоставленные «Новосибирским ЦГМС-РСМЦ»:

- средняя температура воздуха (рисунок 1);
- количество осадков (рисунок 2);
- среднее значение скорости ветра (рисунок 3).

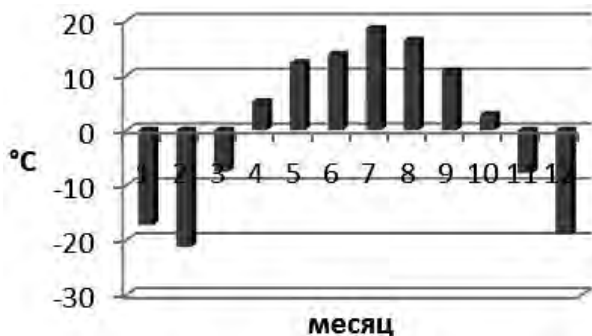


Рисунок 1 – Изменение средней температуры воздуха на годовом интервале

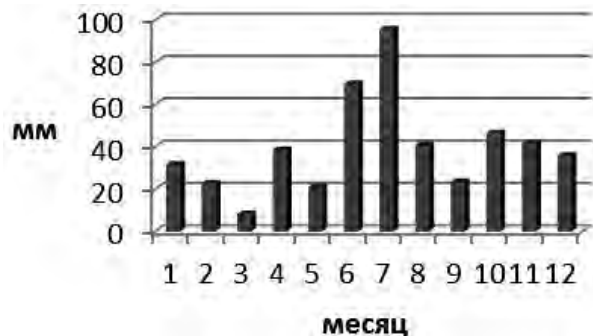


Рисунок 2 – Изменение количества осадков на годовом интервале

Проанализировав исходные данные можно перейти к построению функции принадлежности. Для этого воспользуемся методом экспертных оценок. Основные шаги метода:

- Выбор объект для экспертной оценки;
- Выбор параметров сравнения;
- Определение веса каждого параметра;
- Задание сравнительной шкалы;
- Сравнение.

В качестве примера приведено построение ФП для средней температуры воздуха. Температурная шкала разбивается на следующие значения лингвистической переменной:

- Большая температура (Б);
- Средняя температура (С);
- Маленькая температура (М).

Затем эксперты в количестве пяти человек представляют каждому значению темпера-

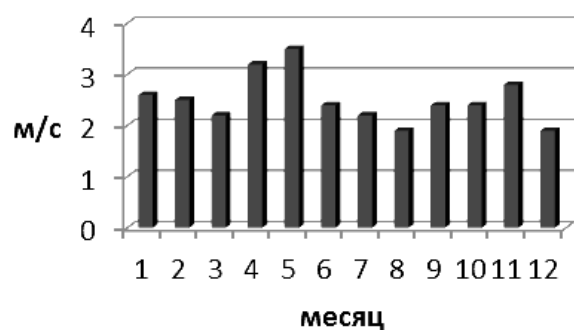


Рисунок 3 – Изменение среднего значения скорости ветра на годовом интервале

туры по оценке – 0 или 1, в зависимости от того относится это значение к заданному значению лингвистической переменной или нет [2]. На основе полученных данных строятся функции принадлежности. В таблице 1 показана табличная интерпретация выше написанного.

Таблица 1 – Пример построения ФП для средней температуры воздуха

		Средняя температура											
		-17,3	-21,3	-7,5	5,2	12,3	13,8	18,5	16,4	10,8	2,8	-7,8	-19
Эксперт 1	М	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	С	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0
	Б	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Эксперт 2	М	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	С	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0
	Б	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Эксперт 3	М	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	С	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
	Б	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Эксперт 4	М	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	С	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
	Б	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Эксперт 5	М	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	С	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
	Б	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0

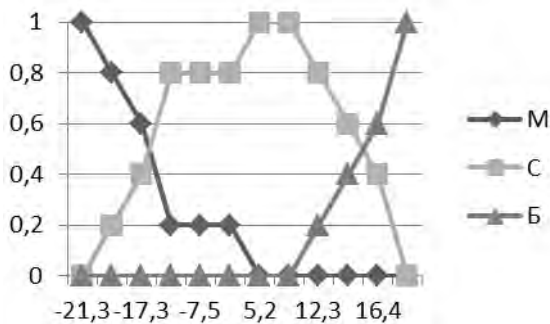


Рисунок 4 – Функции принадлежности для лингвистической переменной средняя температура воздуха

Использование полученных функций принадлежности (рисунки 3-5) в представленном виде в среде Matlab fuzzy logic представляется не удобным, следовательно, следует привести их к функциям стандартного вида: в этом случаи наиболее удобными будут треугольная и трапециевидная. Для этого воспользуемся методом кусочно-линейной аппроксимации; в результате получим следующие видоизмененные функции принадлежности, которые имеют более удобный для использования вид.

Функции принадлежности представленные на рисунках 7-9 будут применены для решение задачи долгосрочного прогнозирования электрической нагрузки в качестве исходных для нечёткой модели прогнозирования. Это позволит существенно повысить точность нечёткой модели прогнозирования, а так же позволит более оперативно подстраивать модель под текущие изменения.

Для построения функций принадлежности полученных метеофакторов использован метод экспертных оценок. Данный метод был выбран так как зависимость электропотребления от метеофакторов носит характер, который не поддаётся описанию с помощью каких либо уравнений. Резюмируя выше написанное в целом по методу, можно сделать вывод, что

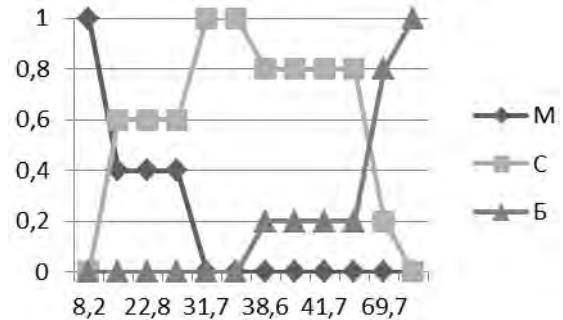


Рисунок 5 – Функции принадлежности для лингвистической переменной количество осадков

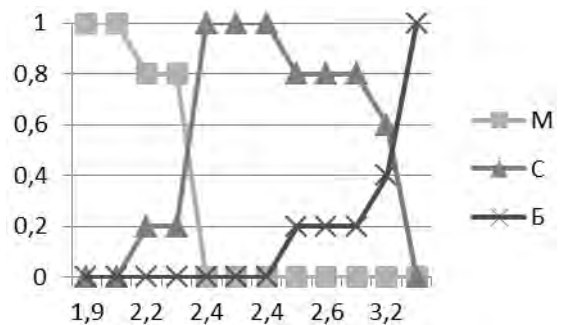


Рисунок 6 – Функции принадлежности для лингвистической переменной средняя скорость ветра

предложенный вариант построения функций принадлежности является удобным и практичным способом для практической реализации.

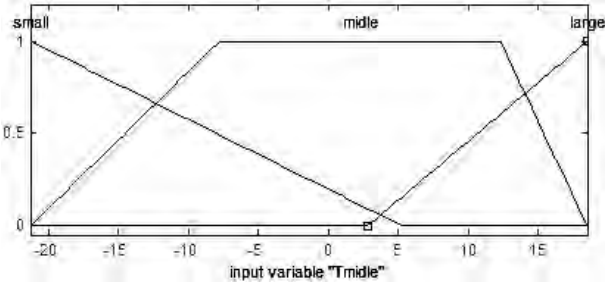


Рисунок 7 – Аппроксимированные функции принадлежности для лингвистической переменной средняя температура воздуха

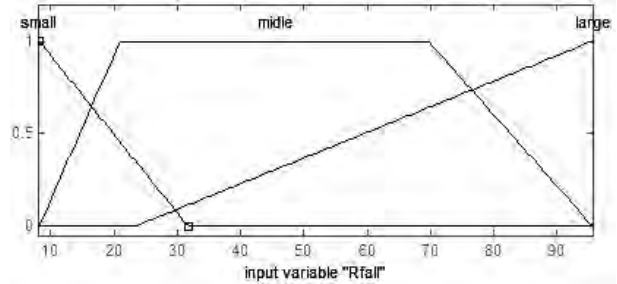


Рисунок 8 – Аппроксимированные функции принадлежности для лингвистической переменной количество осадков

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Макоклюев, Б.И. Оперативное прогнозирование нагрузки ЭЭС с учетом метеофакторов. Советчики диспетчеров по оперативной коррекции режимов работы ЭЭС / Б.И. Макоклюев, Д.А. Федоров. -Иркутск, 1984.  
 2 Saaty, T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process / T.L. Saaty // Management Science. -1986. -Vol.32, №7 (july). -P. 841-855.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метеофакторы, электропотребление, нечёткая логика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Бойко Константин Николаевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ» 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

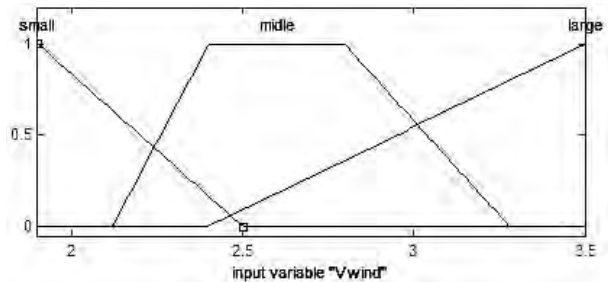


Рисунок 9 – Аппроксимированные функции принадлежности для лингвистической переменной средняя скорость ветра

**РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ ПО ВЫБОРУ ТОКА ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО НАГРЕВА ПРОВОДОВ И ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
 Тобольский филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
 ООО Управляющая компания «РусЭнергоМир»

**И.Л. Власов, Ю.В. Дёмин, Г.В. Иванов, С.В. Ивашкин, М.Н. Романов, Л.В. Садовская, Е.Г. Хромов**

**CALCULATION TERMS ON THE CHOICE OF CURRENT OF THE PROPHYLACTIC HEATING OF SEND-OFFS AND ROPES OF AIR-TRACKS OF ELECTRICITY TRANSMISSION**

Novosibirsk state academy of water transport  
 Novosibirsk state academy of water transport, Tobolsk branch  
 The management company RusEnergMir  
 I.L. Vlasov, Yu.V. Demin, G.V. Ivanov, S.V. Ivashkin, M.N. Romanov, L.V. Sadovskaya, E.G. Khromov

Calculation terms are certain on the choice of current of the prophylactic heating of send-offs and ropes of air-tracks.

Keywords: current of the prophylactic heating of wire and rope, loading device, deposits of ice on send-offs and ropes

Определены расчетные условия по выбору тока профилактического нагрева проводов и тросов воздушных линий.

При прохождении электрического тока по проводнику, в нем выделяется тепловая энергия, пропорциональная квадрату тока и сопротивлению проводника. Проводник при этом нагревается до определенной температуры, зависящей от многих факторов: продолжительности и цикличности действия тока; температуры окружающей среды; материала проводов и др. Процесс нагревания проводника сопровождается отдачей проводником тепла в окру-

жающую среду. Передача тепла от нагретого проводника в окружающую среду осуществляется тремя способами: теплопроводностью, лучеиспусканием и конвекцией. В зависимости от температуры нагретого тела и характера окружающей среды имеет преимущественное значение тот или иной способ теплопередачи.

Для проводов ВЛ основную роль играет передача тепла посредством конвекции, то есть охлаждение нагретого провода движущимся потоком воздуха. Отдача тепла посредством лучеиспускания в данном случае невелика, так как температура проводов ВЛ при нормальной эксплуатации не выходит за пределы 70 °С. Отдача тепла посредством теплопроводности практически не влияет на процесс из-за плохой теплопроводности воздуха.

При этих условиях общее количество тепла, отдаваемого проводом ВЛ в окружающую среду, можно считать пропорциональным поверхности охлаждения и разности температур нагретого провода и воздуха. Количество тепла отдаваемого в единицу времени при состоянии теплового равновесия, будет равно

$$P = C S \tau_{\text{нд}}, \quad (1)$$

где  $C$  – коэффициент теплоотдачи, равный количеству тепла, отдаваемого за одну секунду с 1 см<sup>2</sup> поверхности провода при разности температур провода и воздуха в 1 °С, Вт/(см<sup>2</sup>·°С);

$S$  – поверхность охлаждения провода, см<sup>2</sup>;

$\tau_{\text{нд}}$  – разность температур провода и воздуха при состоянии теплового равновесия, °С.

Количество тепла, получаемого проводом в результате нагревания током при состоянии теплового равновесия, равно количеству тепла, отдаваемого за тот же промежуток времени в окружающую среду.

На основании теоретических расчетов и результатов испытаний и измерений определены эмпирические зависимости, позволяющие определять допустимые токи нагрева проводов при заданных температурах и наоборот.

Для определения значений токов, обеспечивающих на поверхности провода температуру большую +1 °С и препятствующих образованию гололеда, воспользуемся следующими зависимостями [1]

$$I^2 R_t = \left\{ 7,24 \left\{ \left[ \frac{273 + 0,5(t_{\text{доп}} + t)}{1000} \right]^3 (\varepsilon d + 0,16d^{0,75})(t_{\text{доп}} - t)^{0,3} \right\} \right\} (t_{\text{доп}} - t); \quad (1)$$

$$I^2 R_t = \left\{ 7,24 \left[ \frac{273 + 0,5(t_{\text{доп}} + t)}{1000} \right]^3 (\varepsilon d + 1,1) \sqrt{Vd} \right\} (t_{\text{доп}} - t), \quad (2)$$

где  $I$  – ток профилактического нагрева провода или троса ВЛ, А;

$R_t$  – сопротивление 1 м провода или троса при температуре +1 °С, Ом;

$d$  – диаметр провода или троса, см;

$\varepsilon$  – постоянная лучеиспускания (для медных и алюминиевых проводов имеет значение порядка 0,6; для стальных тросов – порядка 0,3);

$t_{\text{доп}}$  – температура провода, °С;

$t$  – температура воздуха, °С;

$V$  – скорость ветра, м/с.

Первая формула применяется для погодных условий со скоростью ветра менее 1 м/с, вторая – со скоростью ветра более 1 м/с.

На рисунках 1-3 приведены кривые токов для профилактического нагрева проводов при различных метеорологических условиях. Дополнительно к приведенным в [1] были рассчитаны зависимости для проводов АС-16, АС-25, АС-35 и стальных тросов С-35, С-50, С-70.

Принципиально важным вопросом при выработке технических требований к нагрузочным устройствам (НУ) является определение расчетных условий по температуре окружающего воздуха и скорости ветра. Обратимся к имеющейся по этому вопросу литературе [2-9]. В работе [7] отмечается многообразие форм обледенения и типичные условия его образования. Атмосферный лед образуется вследствие двух принципиально различных процессов: сублимации пара и кристаллизации (замерзания) находящейся в воздухе воды в виде переохлажденных капель.

Группа I – отложения льда, возникающие в результате сублимации водяного пара, то



есть процесса, при котором водяной пар переходит в лед, минуя стадию воды.

Группа II – отложения льда, возникающие главным образом за счет осаждения и замерзания переохлажденных капель воды.

Группа III – отложения льда, возникающие вследствие осаждения и замерзания неперехолажденной воды и мокрого снега.

Типичной погодой для каждого вида обледенения предмета является при гололеде – дождь при слабом морозе, при зернистой изморози – туман при умеренном морозе, при кристаллической изморози – дымка при значительном морозе, при инее – ясное небо и отсутствие видимых элементов конденсации.

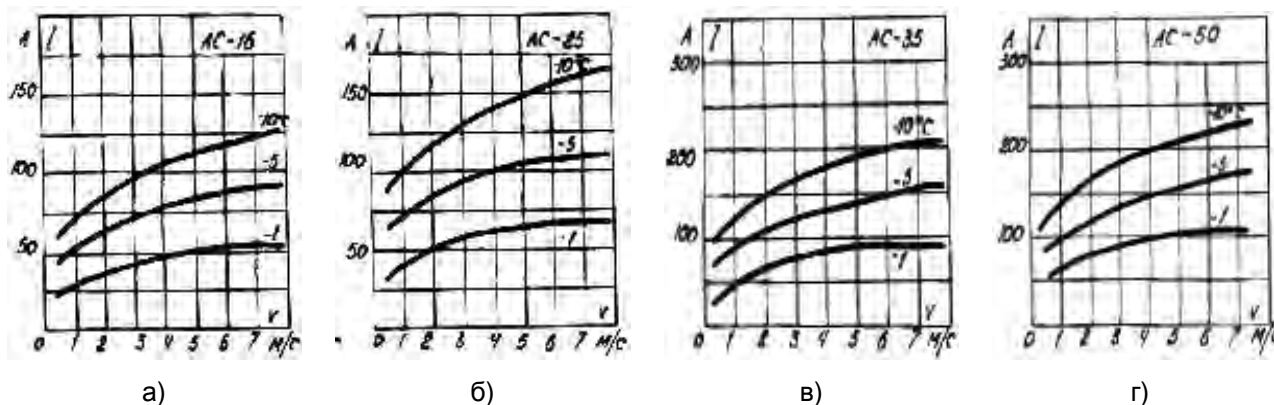


Рисунок 1 – Токи в проводах препятствующие образованию гололеда: а)-AC-16/2,7; б)-AC-25/4,2; в)-AC-35/6,2; г)-AC-50/8,0

Гололед представляет собой слой плотного льда, стекловидного строения, образующийся на любых предметах, но только при морозе и вследствие замерзания переохлажденных капель дождя, мороси и тумана. Чем меньше капли и чем ниже температура, тем более слоистым и менее плотным оказывается гололед. Напротив, при температуре близкой к нулю градуса он бывает стекловидно-прозрачным и очень плотным. Плотность отложения колеблется от 0,6 до 0,9 г/см<sup>3</sup>, приближаясь к плотности льда.

Отмечается, что в большинстве случаев (80%) в южных районах страны минимальная температура при гололеде не бывает ниже -5 °С, а в 60% случаев даже ниже -2 °С.

В условиях Башкирии [9-11] температура воздуха при отложениях гололеда варьируется от 0 °С до -2 °С с наибольшей повторяемостью от 0 до -3 °С. Для скорости ветра при гололеде характерно примерно одинаковое распределение от 2 до 12 м/с. Скорости ветра от 0 до 2 и свыше 12 м/с встречаются редко. Если в качестве расчетных условий принять математические ожидания этих величин ( $T = -2$  °С;  $V = 4$  м/с), то обеспечивается охват 60-65% случаев от общего числа.

Средняя интенсивность нарастания гололедных отложений для различных физико-географических районов меняется в широких пределах. Для гололедных районов РФ нижней границей можно считать 50 г/ч на погонный метр, верхней границей 400-500 г/ч.

В Норвегии зарегистрированы и большие значения интенсивности обледенения – 1 кг/ч. Время начала отложений: 44,5% случаев приходится на период суток 0-6 ч; 11,0% с 12 до 18 ч; 44,5% с 18 до 24 ч [10, 11].

Средняя повторяемость гололеда в Европейской части страны колеблется в значительных пределах от 0 до 35 дней в году. В Донбассе отложения гололеда образуются в среднем в течение пяти часов, максимально 17 ч, в то время как на Северном Кавказе процесс нарастания отложений гололеда происходит в среднем в течение 17 ч, а максимально этот процесс может происходить в течение нескольких суток [5].

Представляют интерес данные об отложениях гололеда на тросах.

Опыт эксплуатации показывает [10, 11], что гололед на грозозащитных тросах оседает интенсивнее, чем на проводе. Объясняется это двумя причинами: во-первых, температура провода за счет протекания по нему тока на 1-2 °С выше, чем у троса, во-вторых, трос подвешен выше, чем провод. В 65-75% случаев вес гололедных отложений на тросе больше, чем на проводе, причем в 40-50% – в 1,5 и более раз. В среднем за гололедный сезон отложения с тросов удалялись в 1,5 раза чаще, чем с проводов ВЛ. Плавка гололеда на тросах обеспечивается легче, высокое сопротивление тросов позволяет существенно снизить токи

плавки. Обогрев троса не связан с режимами сети и его можно проводить заблаговременно и более длительно. В практике эксплуатации отмечено, что в отдельных гололедных ситуациях для недопущения аварийных повреждений линий гололед достаточно удалить только с тросов.

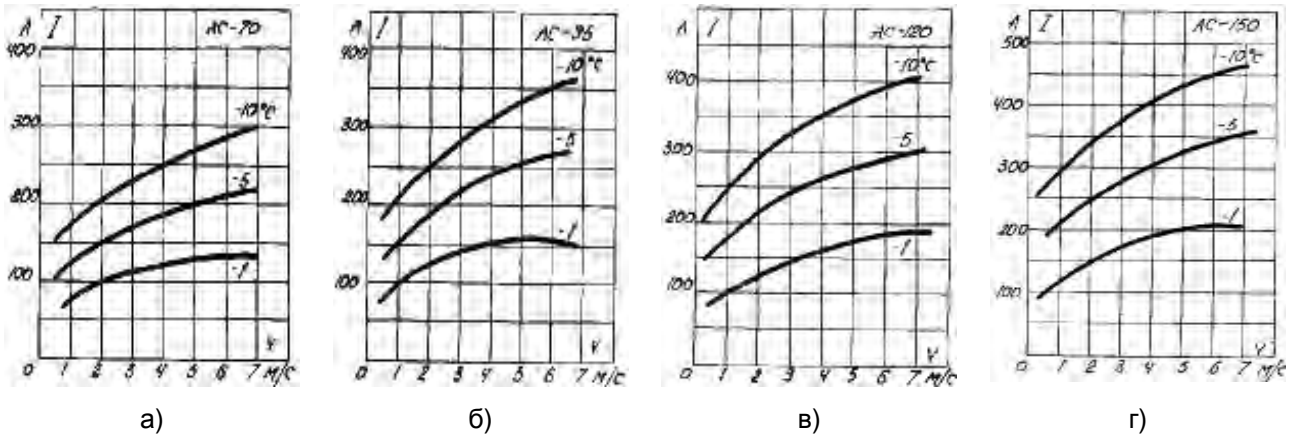


Рисунок 2 – Токи в проводах, препятствующие образованию гололеда: а)-AC-70/11; б)-AC-95/16; в)-AC-120/19; г)-AC-150/24

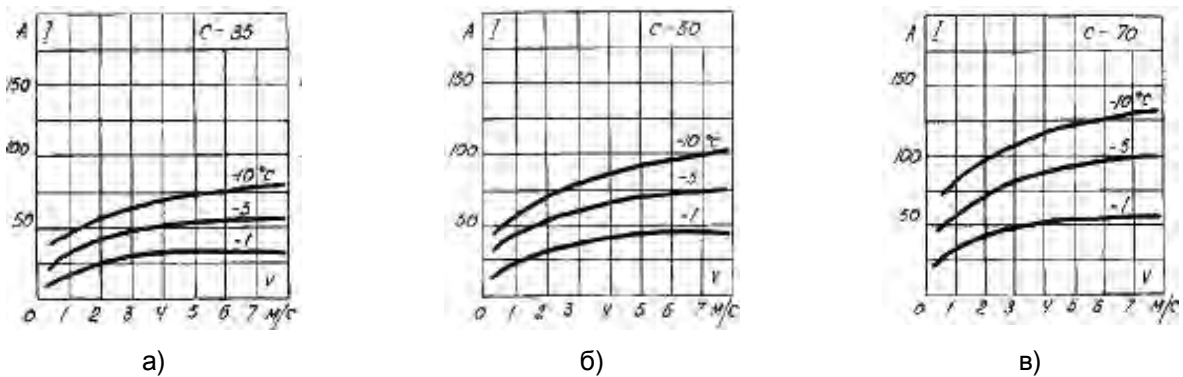


Рисунок 3 – Токи в стальных тросах, препятствующие образованию гололеда: а)- C-35; б)-C-50; в)-C-70

Отметим два важных обстоятельства, во многом определяющих требования к профилактическому обогреву:

- 1) гололедообразование, как правило, происходит волнообразно, и через какое-то время процесс нарастания прекращается полностью;
- 2) на интенсивность гололедообразования в значительной степени влияет величина уже имеющегося гололедного слоя. Чем больше слой, тем скорее идет процесс. Первоначальный диаметр провода не играет уже никакой роли.

**Вывод.** Вышеприведенные материалы дают основание при выборе расчетных условий ориентироваться на наиболее тяжелые гололедные аварии, возникающие при температурах воздуха вблизи 0 °С и несильных ветрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Методические указания по плавке гололеда переменным током. Ч.1. -М.: Союзтехэнерго, 1983.
- 2 Борьба с гололедом на проводах воздушных линий электропередачи и контактной сети: темат. библиогр. список отеч. и зарубеж. лит., 1975-1980 / МПС. -М., 1981. -6 с.
- 3 Ветровые и гололедные нагрузки на линии электропередачи и надежность электроснабжения: труды / Энергосетьпроект. -М., 1981. -120 с.
- 4 Ветровые и гололедные нагрузки на провode воздушных линий электропередачи: труды / Энергосетьпроект. -М., 1985. -136 с.
- 5 Порцелан, А.А. Борьба с гололедом на электрифицированных железных дорогах / А.А. Порцелан, И.В. Павлов, А.А. Негаев. -М.: Транспорт, 1979. -152 с.
- 6 Муренков, Н.С. Гололедные образования на воздушных линиях связи и электропередачи / Н.С. Муренков. -М.: Гидрометеоиздат, 1945. -104 с.
- 7 Бучинский, В.Е. Гололед и борьба с ним / В.Е. Бучинский. -Л.: Гидрометеоиздат, 1960. -192 с.
- 8 Гаруман, Л.Б. Вероятности гололедно-ветровых и температурных воздействий на ЛЭП / Л.Б. Гаруман. -Л.: Гидрометеоиздат, 1987. -200 с.
- 9 Ветер и объекты электроэнергетики (надежность конструкций) / М.А. Березин, М.М. Березин, Ю.В. Демин, А.И. Мозиллов, Е.Г. Хромов. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2008.

10 Плавка гололеда в электрических сетях: материалы Всесоюз. совещ. -Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1970. -171 с.

11 Плавка гололеда на воздушных линиях электропередачи: материалы II Всесоюз. совещ. -Уфа: Башкир. кн. изд-во, 1975. -186 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ток профилактического нагрева провода и троса, нагрузочное устройство, гололед на проводах и тросах

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Власов Илья Леонидович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент Тобольский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Романов Марк Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Садовская Людмила Вадимовна, ведущий специалист ООО УК «РусЭнергоМир»  
 Хромов Евгений Георгиевич, канд. техн. наук, заместитель директора по науке ООО УК «РусЭнергоМир»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 626152, Тюменская область, г.Тобольск, ул.Ремезова, 72а, Тобольский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 630087, г. Новосибирск, ул. Новогодняя, 24/1, ООО УК «РусЭнергоМир»

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТОКА С ПОМОЩЬЮ НЕСКОЛЬКИХ ГЕРКОНОВ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**А.Б. Жантлесова**

### METHOD FOR DETERMINING THE STEADY SUPPLY WITH MULTIPLE REED SWITCH

National research Tomsk polytechnic university

A.B. Zhantlesova

This article proposes a method of determining the steady-state short-circuit current through the reed switch based on measuring the time between circuit and break contacts few of the reed switch.

*Keywords: reed switch, hermetic contacts, short-circuit current*

Предложен способ определения установившегося тока короткого замыкания с помощью герконов, основанный на измерении времени между замыканием и размыканием контактов нескольких герконов.

В настоящее время для увеличения надежности необходимо разработать систему релейной защиты с использованием принципа мажорирования. Следовательно, нужны защиты с разными принципами действия. Предлагается применять магниточувствительные элементы, например можно использовать магнитоуправляемые контакты (МК) – герконы, как источник информации об установившемся токе короткого замыкания.

Разрабатываются устройства релейной защиты, в которых герконы – магнитоуправляемые контакты [1, 2] устанавливаются как непосредственно на шине [2], так на безопасном расстоянии  $h$  (по условиям техники безопасности) от токопровода [3] электроустановки. Шину электроустановки (ЭУ) представляют как тонкий и бесконечно длинный проводник (по которому протекает ток), создающий плоское и однородное магнитное поле, воздействующее на магнитоуправляемый контакт. Габаритные размеры геркона считаются ничтожно малыми. Чувствительность МК определяется значением напряжённости НСР его срабатывания [4].

По закону Био-Савара-Лапласа индукция магнитного поля, при котором МК, помещенный вблизи одиночного проводника, срабатывает

$$B_{CP} = \mu_0 \frac{I_{CP}}{2\pi \cdot h} \cos\gamma, \quad (1)$$

где  $\mu_0$  – постоянная, определяющая плотность магнитного поля в вакууме;

$I_{CP}$  – минимальный ток в проводнике, при котором МК срабатывает;

$\gamma$  – угол между плоскостью параллельной проводнику и продольной осью МК.

Если установить МК под шинами (рисунок 1) от фаз электроустановки на минимальном по технике безопасности расстоянии  $h_{min}$ , то вдоль его продольной оси действует магнитное поле с индукцией

$$B_{ГР} = B_A \cos\alpha_1 + B_B \cos\alpha_2 + B_C \cos\alpha_3, \quad (2)$$

где  $B_A, B_B, B_C$  – индукции магнитных полей в месте установки МК от токов фаз А, В и С

$$\underline{B}_A = \frac{\mu_0 I_A}{2\pi l_A}; \quad \underline{B}_B = \frac{\mu_0 I_B}{2\pi l_B}; \quad \underline{B}_C = \frac{\mu_0 I_C}{2\pi l_C};$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – углы между осью МК и  $B_A, B_B, B_C$  соответственно;

$l_A, l_B, l_C$  – расстояния от соответствующих токопроводов до центра тяжести МК.

Применение защиты зависит от чувствительности, которая характеризуется значением напряженности срабатывания и координатами установки МК [3]. В этой защите МК является простейшим датчиком тока в шине ЭУ, который фиксирует два значения соответствующие току срабатывания и току возврата контактов МК.

На основе аппроксимирующих методов определяются значения параметров предварительно принятой математической модели исследуемого электрического сигнала, предполагающие непосредственные измерения в исследуемой энергосистеме [5-7]. При организации измерительной процедуры уделяется внимание получению информации о законах распределения параметров КЗ. В данной статье предлагается способ определения амплитуды установившегося тока.

Определение тока с помощью нескольких МК [8], измеряющих время  $t_i$ . Если установить в магнитном поле токопровода несколько МК (рисунок 1) так, чтобы ток  $I_{j+1} = 2I_j$ , где  $I_j$  – ток срабатывания  $j$ -го МК,  $j = 1, 2, \dots, n$ , то можно при любой кратности тока  $K$  измерить  $I_m$ , так как последний всегда срабатывает в диапазоне  $1 \leq K \leq 2$ . Предварительно в лабораторных условиях с помощью соленоида находятся токи срабатывания и возврата МК, снимаются и аппроксимируются зависимости кратности тока  $K = I_{mk} / I_{CPK}$  ( $I_{mk}$  – амплитуда тока в катушке соленоида;  $I_{CPK}$  – значения тока в ней в момент срабатывания МК) от времени  $t_i$  при  $K = 1 \dots 64$  и зависимости  $\varepsilon = f(K)$ . Время срабатывания каждого МК измеряется счетчиком 1. С помощью блока 2 определяется число сработавших МК. В блоке 4 по току  $I_j$ , где  $j$ -го сработавшего МК находится ток в проводнике по зависимости  $\varepsilon = f(K)$ , которая задается в блоке 3. Погрешности  $\varepsilon = f(K)$  вводятся в микроконтроллер.

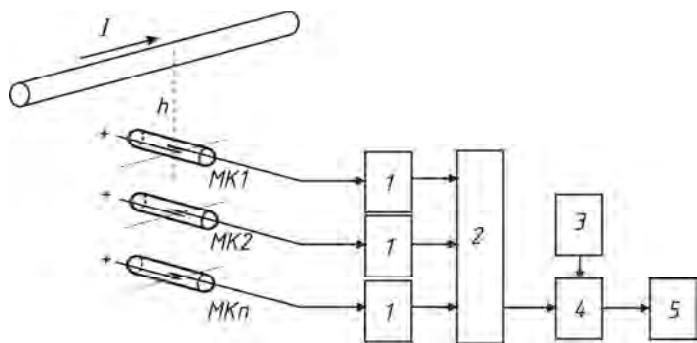


Рисунок 1 – Схема, реализующая способ

В блоке 5 отображается информация о токе в токопроводе электроустановки.

Зависимость  $\varepsilon = f(K)$  для герконов КЭМ-3 при  $n = 6$  показана на рисунке 2, где резкие переходы при  $K = 2$ ;  $K = 4$ ;  $K = 8$ ;  $K = 16$  и  $K = 32$  соответствуют срабатываниям второго, третьего – шестого герконов. Амплитуда  $I_m$  тока рассчитывается в [5] с помощью элементарной геометрии, в которую подставляется время  $t_1^{(1)}$  замкнутого состояния контактов первого МК, если второй еще не сработал (это свидетельствует о том, что  $K \leq 2$ ), и время  $t_1^{(2)}$  второго, если не сработал третий при  $2 < K < 4$ , и так далее до шестого, который срабатывает при  $32 < K < 64$ .

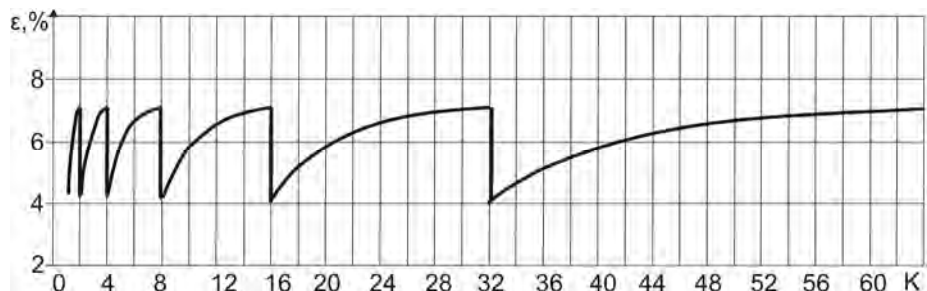


Рисунок 2 – Зависимости  $\varepsilon = f(K)$  для герконов КЭМ-3 при  $n = 6$

Погрешность способа составляет меньше 10%. Данный способ измерения тока повышает точность измерения тока и позволяет учитывать погрешность по времени при форми-

ровании сигналов в момент замыкания контактов геркона.

**Выводы.** Разработан способ измерения тока, реализованные с помощью нескольких герконов, без использования трансформаторов тока и предоставлена простая методика расчета тока в проводнике.

Полученную информацию можно соответствующим образом использовать для средств учета электроэнергии и устройств релейной защиты и автоматики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Карабанов, С.М. Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе: монография / С.М. Карабанов, Р.М. Майзельс, В.Н. Шоффа; под ред. В.Н. Шоффы. -Долгопрудный: Интеллект, 2011. -408 с.: ил. -Библиогр. в конце гл.
- 2 Харазов, К.И. Устройства автоматики с магнитоуправляемыми контактами / К.И. Харазов. -М.: Энергоатомиздат, 1990. - 255 с.: ил. -Библиогр.: с. 254.
- 3 Клецель, М.Я. О построении на герконах защит без трансформаторов тока / М.Я. Клецель // Электротехника. -1987. - №4. -С. 11-13.
- 4 Клецель, М.Я. Выбор тока срабатывания максимальной токовой защиты без трансформаторов тока на герконах / М.Я. Клецель, В.В. Мусин // Пром. энергетика. -1990. -№4. -С. 32-36.
- 5 Жантлесова, А.Б. Метод определения амплитуды синусоидального тока / А.Б. Жантлесова, П.Н. Майшев, М.Т. Токомбаев // Электромеханика, электротехнологии, электрические материалы и компоненты: МКЭЭЭ-2008: тр. XII междунар. конф. - 2008. -С. 308.
- 6 Способ определения установившегося тока короткого замыкания с помощью замыкающих герконов / А.Б. Жантлесова, М.Я. Клецель, П.Н. Майшев, А.В. Нефтисов // Энергетическое обследование как первый этап реализации концепции энерго-сбережения: материалы междунар. молодёж. конф. / НИ ТПУ. -Томск, 2012. -С. 280-283.
- 7 Жантлесова, А.Б. Способ идентификации с помощью герконов / А.Б. Жантлесова, У.К. Жалмагамбетова, М.Я. Клецель // Материалы международной научно-технической конференции «IV чтения Ш. Шокина». -2010. -С. 228-231.
- 8 Пат. 2377579 Российская Федерация, МПК7 G01R 19/30. Способ измерения тока / А.Б. Жантлесова, К.И. Никитин, М.Я. Клецель, М.Т. Токомбаев; заявитель и патентообладатель Омск. гос. техн. ун-т. -Заявл. 09.01.2008; опубл. 27.12.2009, Бюл. №36. -8 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геркон, магнитоуправляемый контакт, ток короткого замыкания  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Жантлесова Асемгуль Бейсембаевна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ**

**ЗАО «ЭЛСИ Стальконструкция»  
ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного  
транспорта»**

**Ю.Р. Гунгер, Ю.В. Дёмин, В.В. Зуйков, С.В. Ивашкин, А.С. Лесных, В.Г. Лесных,  
Д.Н. Плотников, М.Н. Романов**

**ECONOMIC AND TECHNICAL ANALYSIS OF BUILDING OF LINES OF ELECTRICITY TRANSMISSION ON METALLIC  
SUPPORTS WITH THE USE OF ELEMENTS FROM THE BENT TYPES**

**ELSIE group**

**Novosibirsk state academy of water transport**

**Yu.R. Gunger, Yu.V. Demin, V.V. Zuikov, S.V. Ivashkin, A.S. Lesnih, V.G. Lesnih, D.N. Plotnikov, M.N. Romanov**

Comparison of basic indexes of economic efficiency of building of lines of electricity transmission is executed on metallic supports of series of PS10P and on the traditional types of supports.

*Keywords: line of electricity transmission, metallic support from the bent type, net discounted profit*

Выполнено сравнение основных показателей экономической эффективности строительства линий электропередачи (ЛЭП) на металлических опорах серии ПС10П и на традиционных типах опор.

Группа компаний «ЭЛСИ» является одной из ведущих компаний России, которые производят опоры для воздушных линий электропередачи нового поколения, обеспечивающих повышение надежности электроснабжения предприятий при одновременном сокращении стоимости и сроков строительства линий электропередачи. Новые технические идеи, заложенные в конструкции опор и фундаментов группы «ЭЛСИ», позволяют значительно изменить технологию строительства ЛЭП и обеспечить более высокие технико-экономические характеристики ЛЭП для наиболее распространенных типов линий 6-10 кВ.

В расчетах использовалась принятая в зарубежной, а в последнее время и в отечественной литературе, методология при подобных расчетах [1].

Экономическая оценка выполнялась на основе анализа совокупности различных эконо-

мических показателей, дающих наиболее полное представление о сравниваемых вариантах. В выполненных расчетах применены следующие экономические показатели: чистый дисконтированный доход (ЧДД); индекс доходности (ИД); внутренняя норма доходности (ВНД); срок окупаемости (СО) [1].

Если расчет ЧДД инвестиционного проекта дает ответ на вопрос, является он эффективным или нет при некоторой заданной норме дисконта, то ВНД проекта определяется в процессе расчета и затем сравнивается с требуемой инвестором нормой доходности на вкладываемый капитал. В случае, когда ВНД равна или больше требуемой инвестором нормы дохода на капитал, инвестиции в данный проект оправданы [1].

Технико-экономические показатели строительства ВЛ 6-10 кВ существенно зависят от местных условий строительства, при этом основой для их расчета служат физические объемы выполняемых работ.

В статье приводится сравнение физических объемов работ, стоимости конструкций и строительно-монтажных работ для регионов средней полосы и крайнего Севера России. Сравнение выполнено для следующих типов опор: типовые опоры 6-10 кВ железобетонные ПБ10 и стальные серии С10П, типовые стальные опоры 35 кВ П35-1.

Физические объемы работ при строительстве 1 км ВЛ 6-10 кВ для районов крайнего Севера РФ представлены в таблице 1. Расчет объемов работ выполнен, исходя из следующего фундаментного решения: для крайнего Севера опора ПБ10 устанавливается на фундамент из трубы 377 мм с заглублением на 6 м; опора С10П – на фундамент из стальной трубы диаметром 219 мм с заглублением на 6 м; опора П35-1 – на 4 сваи С35-12.

Как видно из представленных данных, стальные опоры серии С10П характеризуются гораздо меньшими показателями физических объемов работ. Объемы работ по разным показателям меньше от 1,8 до 10 раз при сравнении с железобетонными опорами ПБ10, и от 2 до 33 раз при сравнении с опорами П35-1.

*Таблица 2 – Основные показатели итоговой стоимости строительства ВЛ (из локальных смет)*

Виды работ	ПБ10		П35-1		С10П	
	в ценах 1984 г.	в ценах 2002 г.	в ценах 1984 г.	в ценах 2002 г.	в ценах 1984 г.	в ценах 2002 г.
<i>Раздел 1. Свайные основания</i>						
Бурение скважин	5997	310945	8723	452283	2574	133467,4
Стоимость свай из стальных труб	2653	137586	3308	171535	974	50524,73
Установка свай	2631	136434	5484	284379	635	32915,41
Обустройство свайного основания	4287	222308	1135	58874	1363	70685,67
Итого:	15569		18651		5546	
Накладные расходы	3721		4457		1326	
Итого с НР:	19290	807272	23108	967073	6872	287593
<i>Раздел 2. ВЛ 10 кВ</i>						
Установка опор	286	14810	382	19799	231	11976,69
Стоимость опор (в т.ч. траверс)	3935	204018	3311	171694	1854	96148,57
Транспортные расходы	355	18398	329	17060	188	9758,409
Монтаж проводов	119	6149	74	3856	90	4690,027
Комплектация опор	889	46093	875	45365	877	45485,97
Итого:	5583		4971		3241	
Накладные расходы	1334		1188		775	
Итого с НР:	6917	289468	6159	257774	4016	168060
Итого по смете на 1 км ВЛ	26206	1096740	29268	1224847	10888	455653

На основе приведенных в таблице 1 физических объемов были выполнены сметные расчеты строительства ВЛ 6-10 кВ. Определение основных составляющих затрат позволяет в дальнейшем оптимизировать как конструкции опор, фундаментных решений, так и техно-

логию строительства ВЛ. Приведенные ниже показатели сметных расчетов (таблица 2) касаются только двух разделов локальных смет – свайные основания и ВЛ. Как видно из представленных данных, наибольших затрат требуют работы по созданию свайных оснований под опоры.

Для расчета коммерческой эффективности выбрано три варианта строительства:

- вариант 1 – опоры ЭЛСИ С10П;
- вариант 2 – типовые опоры ПБ10;
- вариант 3 – типовые опоры П35-1.

При расчете коммерческой эффективности были приняты условия, описанные ниже.

Ежегодный доход предприятия, расположенного в условиях Крайнего Севера, составляет 15 млн. руб. и для увеличения дохода на 15% в год требуется расширить производство. Для этого необходимо построить линию электропередачи 10 кВ протяженностью 39 км. Срок строительства один год. При этом у предприятия есть 15 млн. руб. собственных средств, из которых оно использует на строительство: по варианту 1 (опоры ЭЛСИ С10П) – 50%; по варианту 2 (типовые опоры ПБ10) – 75%; по варианту 3 (типовые опоры П35-1) – 75%.

Недостающие средства предприятие получает за счет кредита, взятого на два года по 30% годовых. Затраты на строительство и дальнейшую эксплуатацию ВЛ предприятие несет за счет дохода, получаемого со всего производства.

Физические объемы работ для строительства в районе Крайнего Севера на 1 км ВЛ приведены в таблице 1. В таблице 3 представлены исходные данные для расчета коммерческой эффективности.

Основные показатели коммерческой эффективности, полученные в ходе расчетов, по всем трем вариантам представлены в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что строительство ВЛ на опорах ЭЛСИ является предпочтительным из всех трех вариантов сравнения и имеет лучшие показатели:

- индекс доходности более 1;
- внутренняя норма доходности превышает ставку кредита;
- наименьший срок окупаемости.

*Таблица 3 – Исходные для расчета коммерческой эффективности (годовая ставка дисконта – 0,15)*

Исходные параметры	Варианты опор		
	С10П	ПБ10	П35-1
Капитальные вложения: – в электрические сети, млн. руб.	17,77	42,77	
Текущие издержки: – амортизация – затраты на зарплату, млн. руб.	0,048 0,19		
Численность ППП, человек	6		
Средняя зарплата в год на человека, тыс. руб.	31,50		

*Таблица 4 – Основные показатели экономической эффективности проекта строительства ВЛ-10 кВ*

Показатели	Варианты опор		
	С10П	ПБ10	П35-1
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.	52,08	9,36	0,28
Индекс доходности	3,37	0,25	0,01
Внутренняя норма доходности, %	46	6	3
Ежегодный эффект, млн. руб.	6,62	4,55	4,08
Рентабельность инвестиций, %	37,2	10,6	8,5
Срок окупаемости, лет	1,96	8,36	9,95

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. - М.: Информэлектро, 1994. -80 с.

- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** линия электропередачи, металлическая опора из гнутого профиля, чистый дисконтированный доход
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Гунгер Юрий Робертович, канд. техн. наук, председатель совета директоров ЗАО «ЭЛСИ Стальконструкция»  
 Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Зуйков Василий Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Лесных Алексей Станиславович, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Лесных Валентина Григорьевна, ст. преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Плотников Дмитрий Николаевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»  
 Романов Марк Николаевич, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630024, г.Новосибирск, ул.Сибиряков-Гвардейцев, 50, ЗАО «ЭЛСИ Стальконструкция»  
 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

В.Д. Авилов, Ю.В. Москалев

AN ENERGY STORAGE DEVICE PARAMETERS DETERMINATION FOR ELECTRICAL LOCOMOTIVES OF DC RAILWAY WITH USING IMITATING MODELING

Omsk state transport university

V.D. Avilov, Yu.V. Moskalev

Excess recuperative energy in the traction DC network is a reason of negative consequences. In the article the approach was considered, which allows to find parameters of an energy storage device, this device must be placed on electrical locomotives of DC railway, a part of recuperative energy can be returned into electrical network.

*Keywords: recuperation, energy storage, traction trains, imitating modeling*

Избыточная энергия рекуперации в тяговой сети постоянного тока железных дорог является причиной ряда негативных последствий. Рассмотрен подход к определению энергоемкости и мощности накопителя в зависимости от объемов избыточной энергии рекуперации в тяговой сети.

Одной из приоритетных задач Энергетической стратегии ОАО «Российские железные дороги» является задача по внедрению емких накопителей энергии для повышения уровня рекуперированной энергии и эффективности ее использования в тяговой сети постоянного тока.

Для надежного электрического торможения электроподвижным составом (ЭПС) постоянного тока необходимо в любой момент времени иметь потребителя, способного принять количество электроэнергии, соответствующее необходимому тормозному усилию. В большинстве случаев таким потребителями энергии рекуперации являются ЭПС в режиме тяги, а избыточной энергии рекуперации – инверторы на тяговых подстанциях, в качестве альтернативного инвертору технического средства можно рассматривать малогабаритные энергоемкие накопители энергии (НЭ), которые могут быть размещены стационарно или на поезде.

Существенные преимущества накопителя в сравнении с инвертором появляются при возврате запасенной энергии в тяговую сеть. Разряд НЭ в интервалы времени со значительной тяговой нагрузкой позволит обеспечить напряжение в контактной сети выше минимально допустимого по ПТЭ и стандартам, что позволит увеличить скорость движения поездов, снизить потребление энергии на тягу и потери электроэнергии в контактной сети.

Основным показателем наличия избыточной энергии рекуперации в тяговой сети является превышение напряжения в контактной сети выше максимально допустимого значения. В соответствии с ГОСТ 6962-75 на участках, где применяют рекуперативное торможение, наибольшее напряжение на токоприемнике ЭПС не должно превышать 4000 В [1]. В дополнение к нормам стандарта существуют документы, ограничивающие максимально допустимый уровень напряжения в контактной сети или уровень напряжения ограничивается системами защиты на электровозах новых серий, поэтому объемы избыточной энергии рекуперации во многом зависят от принятого в расчете максимально допустимого значения напряжения на токоприемнике ЭПС.

Энергоемкость и мощность НЭ должна быть рассчитана для сохранения только избыточной энергии рекуперации, так как часть энергии рекуперации в месте генерации обычно возвращается в тяговую сеть. В этом случае необходимая энергоемкость, следовательно, стоимость и массогабаритные показатели НЭ на борту ЭПС будут меньше.

Как известно, места на участке движения поезда, в которых возможно появление избыточной энергии рекуперации зависят от детерминированных и случайных факторов. К детерминированным можно отнести: профиль пути, наличие инверторов (резисторов или стационарных НЭ) на тяговых подстанциях участка, электрическое сопротивление тяговой сети, максимально допустимое напряжение в контактной сети, к случайным – ток ЭПС, напряжение на токоприемнике ЭПС, график движения поездов на участке, массы поездов и др.

Рассмотрим подход для определения мест появления и объемов избыточной энергии рекуперации на токоприемнике одного поезда при его движении на двухпутном участке (ри-



сунок 1). Длина участка составляет 36 км, участок электрифицирован по системе постоянного тока с напряжением 3 кВ, тип контактной подвески – М-95+2МФ-100+2А-185 (схема питания контактной сети – двухсторонняя с ПС и ППС), тип рельса – Р65 (соединения рельсовых цепей на рисунке 1 не показаны).

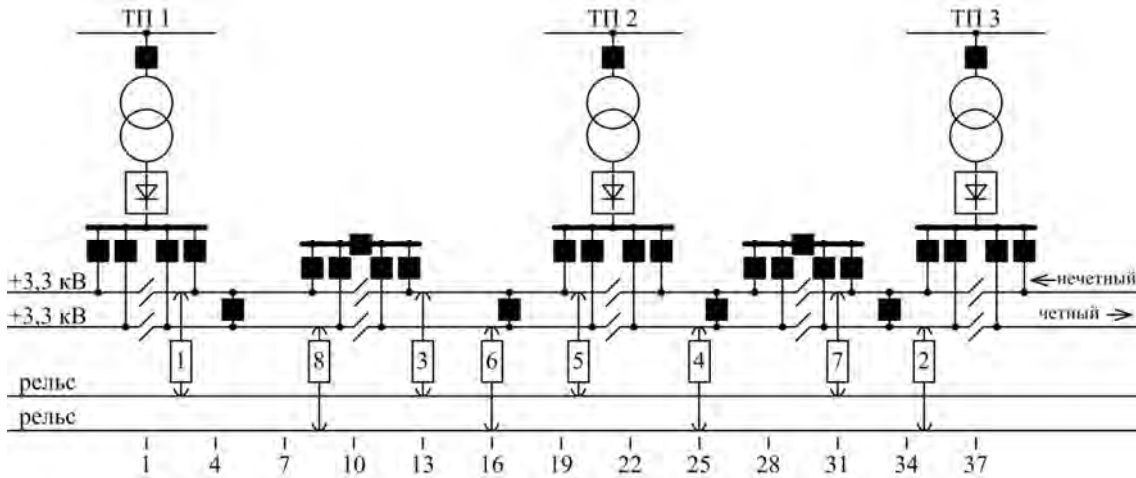


Рисунок 1 – Схема расчетного участка

Для математического описания электрического состояния тяговой сети постоянного тока с учетом тяговых нагрузок был использован метод узловых потенциалов. Имитация перемещения поездов на расчетном участке выполнялась с применением мгновенных схем [2].

При моделировании системы тягового электроснабжения приняты следующие допущения: элементы системы электроснабжения линейные; схема питания контактной сети – двухсторонняя; для использования мгновенных схем тяговая сеть разделена на участки с длиной 1 км; напряжение холостого хода тяговых подстанций принято равным 3600 В; на тяговых подстанциях (ТП) инверторов нет; блуждающие токи отсутствуют; токи фидеров тяговых подстанций смежных участков изменяются случайным образом в соответствии с нормальным законом. Электрические параметры элементов системы тягового электроснабжения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры элементов системы тягового электроснабжения [2]

Марка провода, тип рельса	М-95	МФ-100	А-185	Р-65
Электрическое сопротивление 1 км провода (рельса) при 20 °С, Ом/км	0,2	0,177	0,17	0,0155 (одного пути)

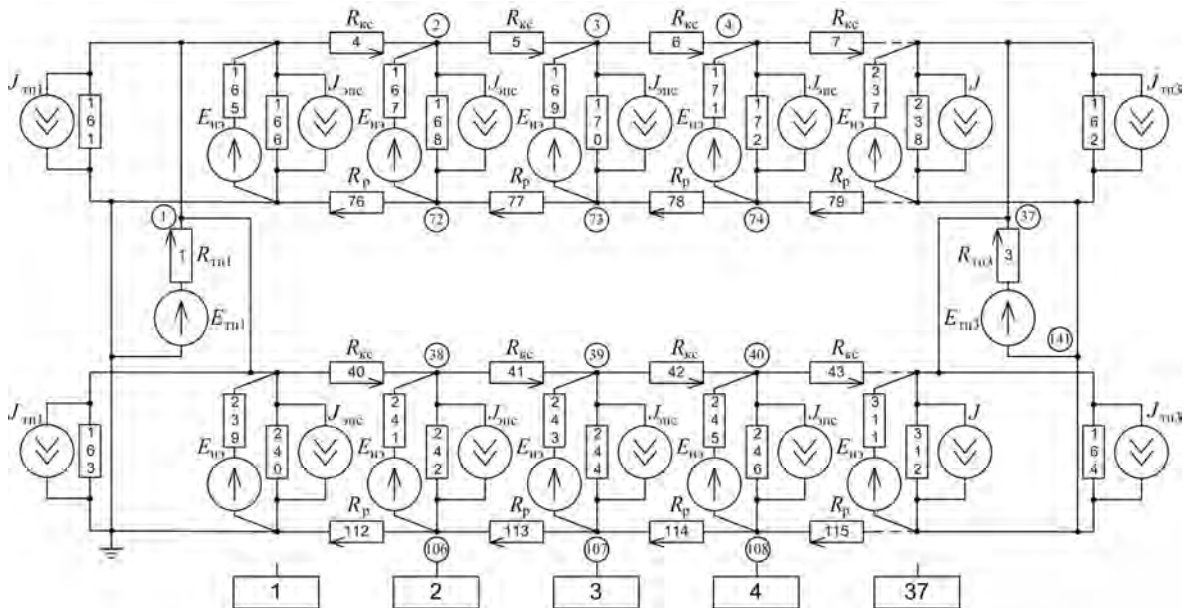


Рисунок 2 – Фрагмент схемы замещения расчетного участка

Сопротивление одного километра контактной подвески  $R_{kc}$  принято равным 0,0356 Ом; рельсовой цепи  $R_p$  одного пути – 0,0155 Ом; сопротивления постов секционирования, пунктов параллельного соединения – 0,002 Ом; сопротивления тяговой подстанций ТП 1  $R_{m1}$  равно 0,036 Ом, ТП 2 – 0,037 Ом, ТП 3 – 0,076 Ом.

Фрагмент схемы замещения участка представлен на рисунке 2.

На схеме замещения (рисунок 2) ЭПС заданы источниками тока  $J_{эпс}$ . Знак источника тока  $J_{эпс}$  зависит от режима ЭПС: при положительном – тяговый режим, при отрицательном – рекуперация.

Токи ЭПС изменяются в зависимости от координаты участка в соответствии с рисунком 3. Значения токов ЭПС поездов с различными массами были получены в результате тяговых расчетов при условии применения максимального рекуперативного торможения.

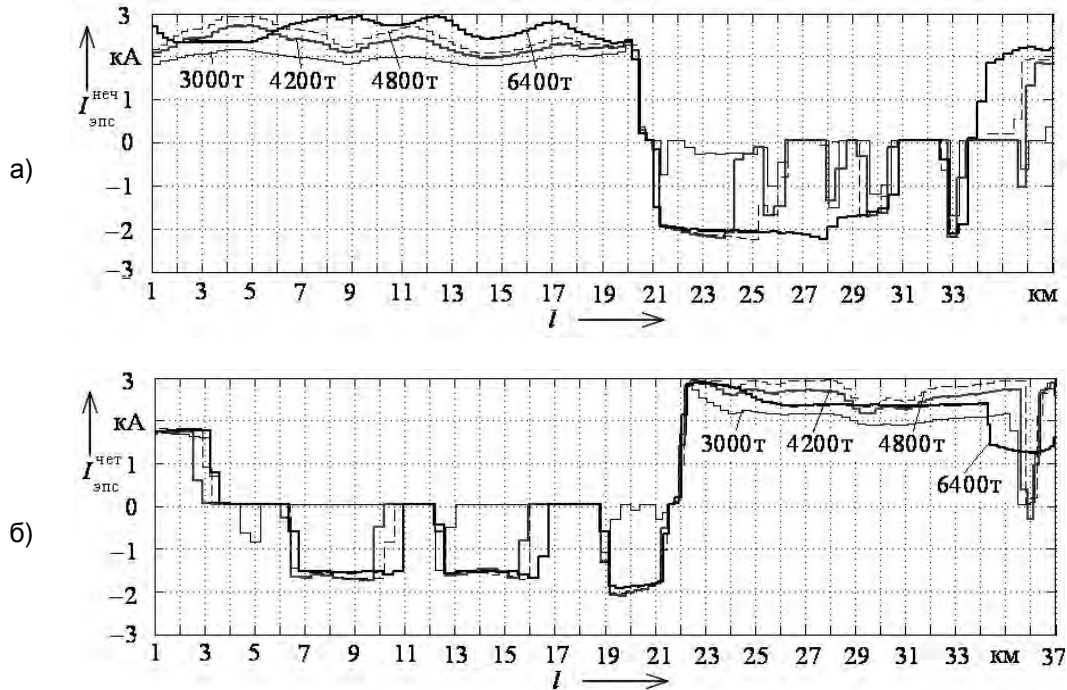


Рисунок 3 – Расчетные значения тока ЭПС на участке

Для движения грузовых поездов на участке невозможно составить однозначный суточный график движения, графики даже смежных суток заметно отличаются друг от друга [2], поэтому формирование различных графиков движения на участке было выполнено случайным образом с равновероятным размещением каждого из поездов на нитях графика. Нити на каждом графике были получены в соответствии с равномерным законом распределения начальной координаты нити. В качестве примера на рисунке 4 показан один из множества случайных графиков.

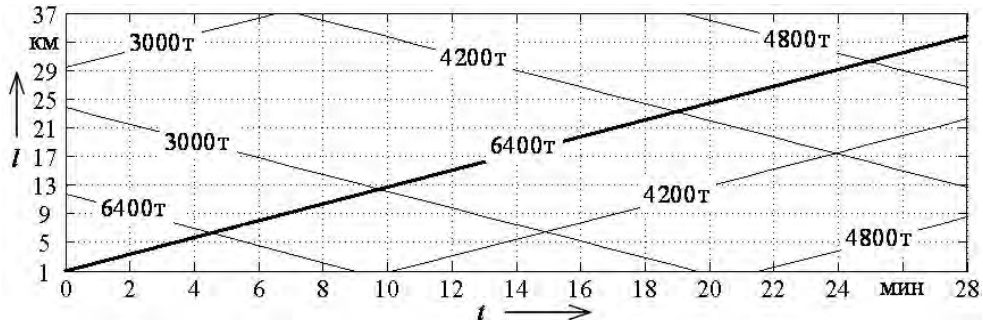


Рисунок 4 – Случайный график движения грузовых поездов на участке

При моделировании случайных графиков приняты допущения: поезда перемещаются с постоянной скоростью 75 км/ч без остановок; в четном и нечетном направлениях по четыре грузовых поезда (рисунок 1); минимально допустимый межпоездной интервал – 10 минут.

На рисунке 4 выделена нить четного грузового поезда массой 6400 т, которая не изменяется при формировании случайных графиков.

Для каждого случайного графика движения выполняется расчет токораспределения с использованием схемы замещения системы тягового электроснабжения (рисунок 2). При этом рассматриваются 28 мгновенных схем, соответствующие различным точкам расположения ЭПС.

Расчетная модель позволяет исключить влияние других рекуперирующих электровозов на участке, это обеспечивается за счет параллельного соединения ветви с ЭДС для каждого источника тока ЭПС на рисунке 2. Если напряжение ветви с отрицательным источником тока увеличивается больше, чем максимально допустимое значение (в расчете принято 4000 В), то проводимость соответствующей ветви с  $E_{нэ}$  изменяется и расчет токораспределения повторяется, избыточная энергия для этой ветви «передается» в параллельно подключенную ветвь с ЭДС НЭ. Таким образом, выполняется количественное определение объемов избыточной энергии рекуперации в узлах схемы замещения.

Избыточная энергия рекуперации на токоприемнике электровоза четного поезда массой 6400 т появляется для девяти мгновенных схем на участке с 7 по 21 км, что соответствует рисунку 3б, это точки с 8-го по 10-й километр, с 14-го по 16-й километр, а также 19 и 21 километр.

Необходимая точность результатов моделирования достигается при некотором минимальном количестве случайных графиков  $N$ .

Для оценки необходимого количества случайных графиков были выполнены расчеты с различным количеством  $N$  [3], изменения статистических вероятностей появления избыточной энергии рекуперации в указанных точках в зависимости от количества  $N$  приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка необходимого количества случайных графиков

$N$	Статистические вероятности появления избыточной энергии рекуперации							
	8 км	9 км	10 км	14 км	15 км	16 км	19 км	21 км
100	0,0000	0,0000	0,0200	0,0400	0,0400	0,0000	0,2100	0,5580
500	0,0180	0,0220	0,0220	0,0420	0,0560	0,0260	0,1920	0,4070
1000	0,0220	0,0230	0,0300	0,0440	0,0480	0,0270	0,1950	0,4921
2500	0,0148	0,0240	0,0232	0,0382	0,0458	0,0148	0,1804	0,4033
5000	0,0144	0,0245	0,0230	0,0398	0,0480	0,0186	0,1852	0,4218
10000	0,0142	0,0247	0,0231	0,0391	0,0461	0,0172	0,1830	0,4185

Таким образом, увеличение числа  $N$  больше 5000 позволяет получить устойчивые значения рассматриваемых величин. Статистические вероятности появления избыточной энергии рекуперации с 8-го по 10-й километр и с 14-го по 16-й километр не превышают 0,0461, максимальное значение избыточной энергии рекуперации равно 17,7 кВт·ч. Вероятности для 19 и 21 километров равны 0,18 и 0,42 соответственно.

На рисунке 5 показаны расчетные плотности распределения избыточной энергии рекуперации для четного поезда массой 6400 т на 19-м и 21-м километрах участка.

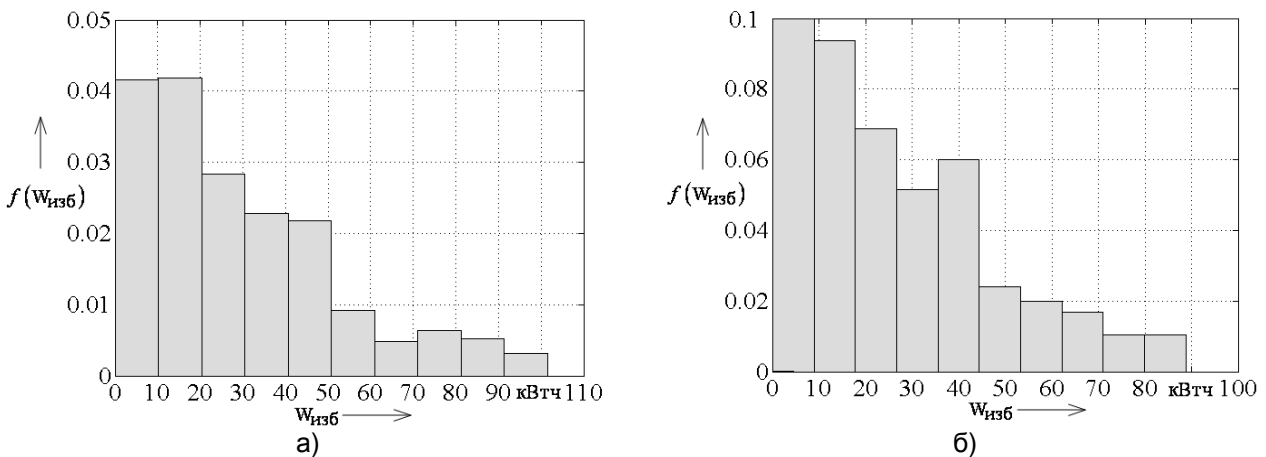


Рисунок 5 – Плотности распределения избыточной энергии рекуперации на 19 километре (а) и 21 километре (б) участка

Расход электроэнергии ЭПС на участке составляет 2582,1 кВт·ч, рекуперация энергии – 712,4 кВт·ч. Вероятность появления избыточной энергии рекуперации на 19 км составляет 0,18, максимальное значение которой равно 101 кВт·ч, на 21 км – 0,42, максимальное значение равно 95 кВт·ч.

Для накопления всего объема избыточной энергии рекуперации, генерируемой электровозом рассмотренного поезда, необходимо использовать НЭ с энергоемкостью 101 кВт·ч и мощностью 7,5 МВт.

Рассмотренный подход позволяет определить вероятность появления избыточной энергии рекуперации, плотность распределения избыточной энергии в различных точках участка и энергоемкость НЭ, размещенного на поезде, на любом участке с системой электроснабжения постоянного тока с учетом различных факторов.

Технико-экономическая оценка возможности применения энергоемкого НЭ на борту ЭПС для снижения объемов избыточной энергии рекуперации должна учитывать различные альтернативные варианты.

Наиболее перспективными для использования на подвижном составе являются емкостные накопители энергии – электрохимические конденсаторы, в настоящее время такие НЭ имеют высокую стоимость. При этом за 14 лет удельная стоимость за 1 кДж электрохимических конденсаторов уменьшилась более чем в 220 раз [4], поэтому в ближайшем будущем возможна практическая реализация систем накопления энергии для грузовых электровозов магистральных железных дорог.

В результате можно сделать следующие выводы:

1) Энергоемкость и массогабаритные показатели существующих в настоящее время НЭ не позволяют электровозу выполнять работу по перемещению грузового поезда автономно, но их применение может увеличить объемы энергии рекуперации, следовательно, снизить расход электроэнергии на тягу, увеличить скорость движения поезда.

2) Энергоемкость и мощность НЭ грузового поезда необходимо рассчитывать только для сохранения объемов избыточной энергии рекуперации на участке работы электровоза, при этом необходимая энергоемкость и, следовательно, стоимость НЭ будет меньше, чем при накоплении всего объема энергии рекуперации.

3) Объемы избыточной энергии рекуперации в системе тягового электроснабжения постоянного тока железных дорог зависят от многих случайных и детерминированных факторов, к основным из которых можно отнести профиль пути, графики движения, применение инверторов на ТП, стационарных НЭ на участке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 6962-75. Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений. -М.: Изд-во стандартов, 1976. -8 с.
- 2 Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К.Г. Марквардт. -М.: Транспорт, 1982. -528 с.
- 3 Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. -М.: Мир, 1978. -300 с.
- 4 Electrosad.ru [Электронный ресурс]. -Режим доступа: www.electrosad.ru.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** рекуперация, накопитель энергии, тяга поездов, имитационная модель  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Авиллов Валерий Дмитриевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
Москалев Юрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МЕТРОПОЛИТЕНА**

**ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»**

**Э.Г. Лангеман, М.В. Калугин**

**AUTOMATIZATION OF UNDERGROUND VENTILATION SYSTEM**  
Novosibirsk state technical university  
E.G. Langeman, M.V. Kalugin

The ventilation system is one of the main energy consumers in the Underground. Tunnel ventilation is second power consumer after the rolling stock. Existing methods of ventilation set mode of operation regulation caused over expenditure. Adoption of automated control systems will solve this problem.

*Keywords: underground, ventilation system, energy efficiency, automatization, fuzzy logic, SCADA system, physical model*

Вентиляционная система является одним из крупнейших потребителей энергии в метрополитене. Энергопотребление тоннельной вентиляции уступает только потреблению подвижного состава. Существующие методы регулирования производительности вентиляционных агрегатов приводят к перерасходу энергии. Внедрение автоматизированных систем управления позволит решить эту проблему.

Метрополитен – это основа транспортной системы большинства крупных городов. Этот вид транспорта отличают большой пассажиропоток и высокая пропускная способность. Наряду с этими достоинствами, метрополитен, как транспортная система в целом, обладает недостатком – невысокой энергоэффективностью.

Вентиляционная система, к основным функциям которой относятся удаление вредных веществ на поверхность и подача свежего воздуха в сооружения, является одним из крупнейших потребителей энергии в метро [1]. Энергопотребление тоннельной вентиляции уступает только потреблению подвижного состава [2]. Поэтому повышение энергоэффективности вентиляционной системы является весьма актуальной задачей.

В качестве объекта исследования взята вентиляционная система Новосибирского метрополитена, имеющая ряд особенностей связанных со спецификой эксплуатации метро мелкого заложения (ММЗ) в условиях резко-континентального климата Сибири.

Вентиляция Новосибирского метрополитена, осуществляется путем нагнетания воздуха в тоннели с его последующим распределением к местам наибольшего скопления пассажиров, при этом сам тоннель служит воздухопроводом, а отработанный воздух удаляется станционными вентиляторами на поверхность.

Потребность в количестве подаваемого воздуха в разные месяцы различна. Суточная потребность также меняется, что обусловлено изменением пассажиропотока и температурой воздуха на поверхности. Таким образом, для поддержания параметров микроклимата и исключения избыточной производительности вентиляционной системы необходимо изменять режимы работы вентиляционных агрегатов (ВА). Однако, существующие методы регулирования производительности ВА носит эпизодический характер, что приводит к существенному перерасходу энергии. Внедрение автоматизированных систем управления позволит, в значительной мере, решить проблемы энергоэффективности и поддержания параметров микроклимата на комфортном для пассажиров и работников метрополитена уровне.

Дополнительной предпосылкой к созданию автоматизированных систем управления вентиляцией стала проводимая модернизация устаревшего парка ВА. Однако, возможности предоставляемые модернизацией, зачастую не используются в полном объеме. Это связано с трудностями создания оптимальных алгоритмов управления, в значительной степени определяющих эффективность системы автоматизации.

В настоящее время на территории России действует СниП 32-02-203 «Метрополитены», который регламентирует подачу наружного воздуха на станции в объеме не менее 50 м<sup>3</sup> на одного человека в час «пик» и не менее 30 м<sup>3</sup> на человека в остальное время суток. Необходимо также обеспечить не менее чем трехкратный воздухообмен в час по внутреннему объему пассажирских помещений и тоннелей [3]. Таким образом, проектными нормами допускается оперативное управление проветриванием, то есть изменение объема подаваемого в течение суток воздуха в зависимости от числа пассажиров, температуры наружного воздуха, интервалов движения поездов и т.д.

Существуют различные принципы управления проветриванием метрополитенов, например, на основании контроля расхода воздуха на платформе [4]. Одним из вариантов является управление станционными установками тоннельной вентиляции (УТВ) по состоянию показателей микроклимата на станции. Применение такой АСУ, по мнению автора, позволит повысить экономичность, точность и надежность управления проветриванием.

Основной проблемой создания алгоритма управления для системы проветривания является нелинейность характеристик объекта управления. Одним из способов решения этой проблемы может быть использование управления с применением нечеткой логики. Регуляторы, построенные на базе нечеткой логики, в ряде случаев способны обеспечить более высокие показатели качества переходных процессов по сравнению с классическими регуляторами [5]. Однако в этом случае предполагается наличие «базы правил», то есть реакции системы на управляющие воздействия. Динамика изменения параметров микроклимата во многом зависит от индивидуального архитектурного исполнения станции, ее расположения на линии метрополитена, интенсивности пассажиропотока и т.д. Поэтому для каждого стан-

ции должна формироваться отдельная «база правил» при этом должны быть учтены и режимы вентиляции смежных станций. Создание такой базы практически невозможно без внедрения АСУ ТП микроклимата на основе современных SCADA пакетов. Применение SCADA системы позволит формировать «базу правил» в автоматическом режиме.

*Проведенные эксперименты.* На начальном этапе создания «базы правил» были проведены следующие эксперименты: определение динамики изменения параметров микроклимата на станции и определение основных точек мониторинга. Для исследований были выбраны односводчатые станции «Площадь Ленина», расположенная в середине линии и «Площадь Маркса» – тупиковая станция. Параметры микроклимата контролировались в семи точках равномерно расположенных по всей платформе. Регистрация параметров проводилась в автоматическом режиме с помощью автономных регистраторов EClerk. Эксперименты проводились в различное время суток, в будни и выходные дни. Это связано с изменением возмущающих воздействий на станции, и как следствие различной реакцией системы на них. Ниже приведены фрагменты полученных кривых по одному из параметров - температуре окружающего воздуха на высоте 1,5 м над уровнем платформы, выполненные в ночное время.

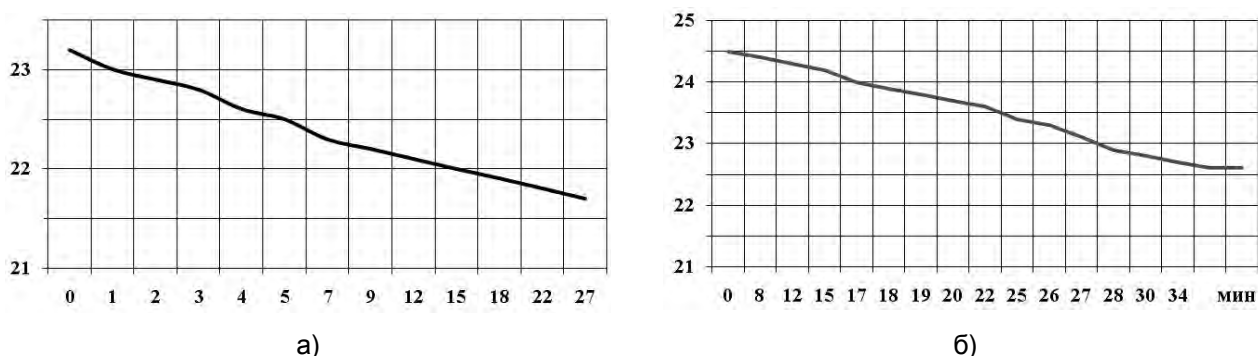


Рисунок 1 – Динамика изменения температуры на станциях при включении одного станционного вентилятора ВОМД-24: а)-станция площадь Ленина; б)-станция площадь Маркса

*Физическая модель.* Так как метрополитен является действующим объектом, то отработка методов управления на реальном объекте в полном объеме не представляется возможной. Кроме того, на большинстве станций модернизация ещё не проводилась и плавное регулирование производительности ВА невозможно. В связи с этим была разработана физическая модель типового участка метрополитена.

В качестве основы для физической модели был принят типовой участок линии метрополитена [4], включающий в себя односводчатую станцию с размещенной на ней станционной УТВ и два полуперегона с перегонными УТВ.

В схему включены все основные элементы, к которым относятся: платформенный зал-1, лестничные марши-2, вентсбойка-3, тоннели-4.

Как и на объекте оригинала, под платформой модели находится вентиляционный канал, а воздух со станции удаляется с помощью станционной УТВ через отверстия, расположенные под лестничными маршами. В отличие от представленной схемы, модель оборудована вестибюлями со специальными регулируемыми окнами, что позволит наиболее точно имитировать циркуляцию воздуха через двери станции.

Для исследования влияния сечения вентиляционных сбоек на процесс вентиляции они оборудованы управляемыми жалюзи. Имитация различных атмосферных условий производится специально разработанным климатическим регулятором, позволяющим изменять температуру, влажность и содержание CO<sub>2</sub> подаваемого наружного воздуха. Платформенный зал станции герметично изолирован от окружающей среды с помощью свода, выполненного из органического стекла.

Аэродинамическое сопротивление примыкающих к смоделированному участку тоннелей имитируются окнами регулируемого сечения расположенными на торцевых стенках модели. Физическая модель выполнена в масштабе 1:50.

Как известно, основными источниками тепла в метрополитене кроме пассажиров (5%), являются подвижной состав (80%) и различные тепловыделяющие технические приборы, устройства и оборудование (15%). Относительная влажность воздуха на станции зависит от двух основных факторов – влажность наружного воздуха, и влияние пассажиров на влаж-

ность. Химический состав, а именно содержание углекислого газа в воздухе, напрямую зависит от количества пассажиров на станции и состава наружного воздуха. Подвижность воздуха и воздухообмен формируется поршневым действием поезда, а также вентиляционной системой метрополитена.

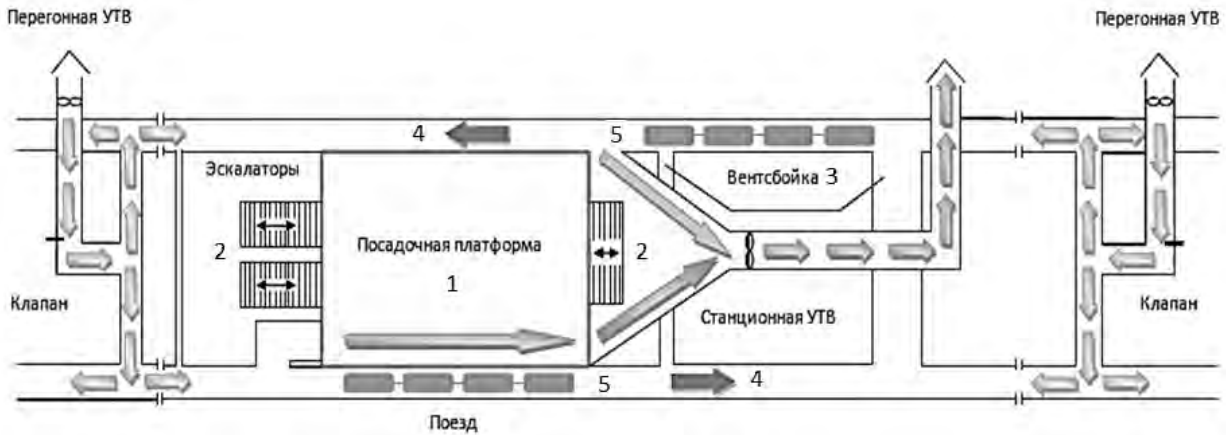


Рисунок 2 – Схема типового участка метрополитена мелкого заложения

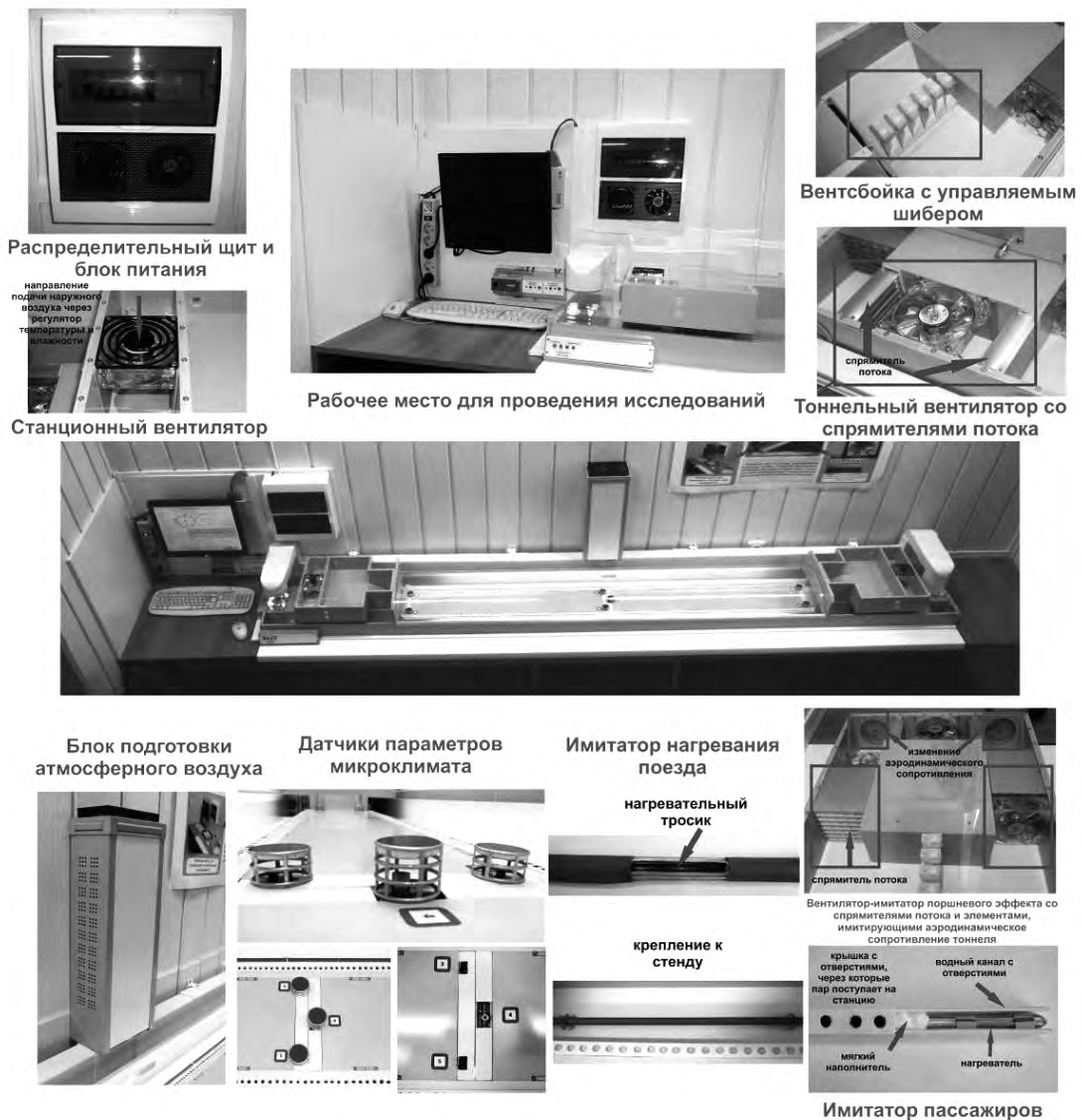


Рисунок 3 – Конструкция стенда (физическая модель)

Тепловыделение от реостатно-контакторной системы электроподвижного состава, тормозных колодок и рельсов на физической модели моделируются с помощью специально разработанных нагревательных элементов, расположенных на путевой структуре по всей длине станции. Мощность, подводимая к нагревателям, может изменяться как плавно, так и ступенчато, что позволяет имитировать различные интервалы и режимы движения поезда. На стенде тепло-влаги выделения пассажиров моделируются с помощью специально разработанных увлажнителей, расположенных по краям платформы. Увлажнитель также имеет возможность регулировки, что позволяет имитировать изменения «пассажиропотока» на станции. Для определения адекватности всех нагревательных элементов были проведены испытания в специальном термоизолированном боксе. Станционные и перегонные вентиляторы имитируются с помощью 80-миллиметровых вентиляторов с контролем частоты вращения. Производительность вентиляторов можно изменять как в ручном, так и в автоматическом режимах. Для каждого вентилятора перед установкой в модель, на специально разработанном стенде были сняты аэродинамические характеристики, что позволило максимально точно смоделировать реальные ВА.

Для имитации поршневого эффекта метropоезда были использованы вентиляторы, расположенные в тоннелях вблизи венткамер. Управление каждым из этих вентиляторов индивидуальное и производится с помощью микроконтроллера, что позволяет имитировать не только изменение интервалов движения поездов, изменение интенсивности воздушного потока при приближении и отходе поезда, но и конвекционные потоки тоннеля. Имитация аэродинамического сопротивления тоннеля и спрямление воздушного потока производится сотовыми спрямителями.

Контроль параметров микроклимата платформенного зала производится в семи точках расположенных по периферии и в центре платформы. Информация с датчиков поступает на ПЛК, управляющий станционными ВА. ПЛК играет роль управляющего устройства и одновременно является элементом «полевого уровня» установленной на рабочем месте оператора SCADA системы InTouch 7.0.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Цодиков, В.Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов / В.Я. Цодиков. -Изд. 2-е, перераб. и доп. -М.: Недра, 1975. -568 с.
- 2 Красюк, А.М. Тоннельная вентиляция метрополитенов / А.М. Красюк. -Новосибирск: Наука, 2006. -164 с.
- 3 СНиП 32-02-203. Метрополитены. -Введ. 01-01-2004. -М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. -36 с.
- 4 Зедгенизов, Д.В. Новый подход к управлению проветриванием метрополитенов мелкого заложения / Д.В. Зедгенизов // Горн. информ.-аналит. бюл. Темат. прил. «Безопасность» / МГГУ. -М., 2005. -С. 312-323.
- 5 Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде; пер. с англ. Н.И. Ринго; под ред. Н.Г. Миосеева и С.А. Орловского. -М.: Мир, 1976. -165 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метрополитен, вентиляционная система, энергоэффективность, автоматизация, нечеткая логика, SCADA система, физическая модель  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Лангеман Эвелина Гарриевна, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
Калугин Михаил Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

## ПРИЧИНЫ ПОВЫШЕННОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА МЕТРОПОЛИТЕНЕ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**М.В. Калугин, К.Е. Яковлева, Э.Г. Лангеман**

### REASONS FOR THE INCREASED USE OF ELECTRICITY ON THE SUBWAY

Novosibirsk state technical university  
M.V. Kalugin, K.E. Yakovleva, E.G. Langeman

The article shows modern state of the underground, as a major energy consumer. Number of reasons caused the power consumption increasing was identified for this kind of transport.

Keywords: underground, energy efficiency, random value, a rolling stock, the optimal mode of motion

Рассмотрено современное состояние метрополитена, как крупного городского энергопотребителя. Был выявлен ряд причин, объясняющий повышенный расход электроэнергии на данном виде транспорта.



В современных условиях мегаполиса метрополитен является важным видом транспорта быстрого передвижения. Основными проблемами эксплуатации такого вида транспорта является высокое потребление электроэнергии на тягу, доля расхода которой составляет 51% от всей потребляемой электроэнергии на метрополитене.

Поэтому экономия электроэнергии для тяговых нужд подвижного состава является важной задачей на метрополитене.

Предметом исследования являются причины вызывающие повышенный расход энергопотребления.

В Новосибирском метрополитене используется подвижной состав серии 81-717.5М, 714.5М, который проектировался еще в 60-е годы прошлого века. В настоящее время на метрополитене проводится модернизация, однако, показатели расхода электроэнергии на тягу продолжает увеличиваться [1].

Как известно, энергоэффективность движения поезда в основном определяется его режимом ведения по перегону. Таким образом, оптимизируя режим движения можно добиться значительной экономии электроэнергии. Для проверки реального режима движения подвижного состава было организовано ряд экспериментов.

Для экспериментов был выбран перегон Студенческая-Площадь Маркса, протяженностью 1,27 км. Первый эксперимент заключался в измерении времени движения по перегону. Для проведения эксперимента был использован электронный секундомер. Запуск которого осуществлялся в момент начала движения, а остановка в момент прибытия подвижного состава на станцию.

Было проведено более 100 измерений времени хода в прямом и обратном направлении. Данные, полученные на опытном перегоне, представлены в графическом виде на рисунке 1.

Из полученных данных видно, что существует существенный разброс времени хода по перегону. Реальное время хода определяется величиной пускового ускорения и временем движения подвижного состава под током [3].

Для наиболее полного анализа причин разброса была проведена статистическая обработка данных. Значения случайной величины (СВ) времени хода были сгруппированы в упорядоченный статистический ряд с числом разрядов равным 20. Вид гистограммы и плотности распределения времени хода представлена на рисунке 2.

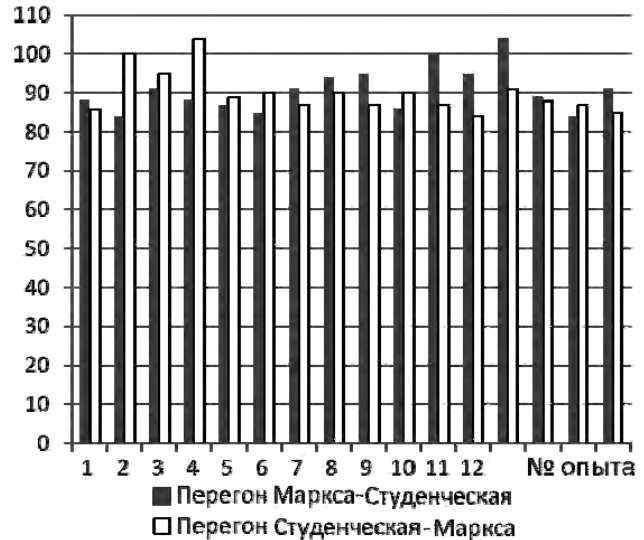


Рисунок 1 – Многократное измерение времени движения по перегону, с

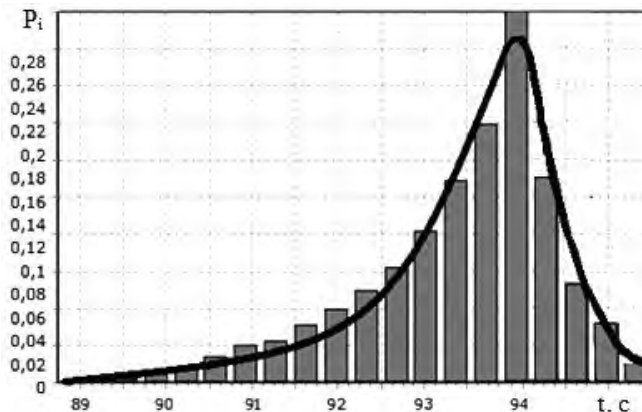


Рисунок 2 – Гистограмма и плотность распределения времени хода

Произведен подбор выравнивающей функции, сходимость которой оценивалась по критерию Пирсона. Получено, что распределение времени хода наиболее полно описывается

неполной гамма функцией.

Выражения для системы относительных единиц плотность вероятностей и функция гамма распределения записывается формулами [2]:

$$P_i = \frac{r^2}{\Gamma(r)} \exp(-rt) \cdot t^{r-1}, \quad (1)$$

$$F_i = \frac{r^2}{\Gamma(r)} \int_0^t t^{r-1} \exp(-rt) dt, \quad (2)$$

где  $\Gamma(r)$  – гамма функция по параметру  $r$ ;

$r$  – параметр распределения.

Оценка соответствия статистических данных выравнивающей функции выполнена по критерию Пирсона

$$\chi^2 = m \sum_{i=2}^k \frac{(P_i^* - P_i)^2}{P_i}, \quad (3)$$

где  $m$  – число опытов;

$P_i^*$  – экспериментальное значение вероятностей;

$P_i$  – теоретическое значение вероятностей.

На следующем этапе работы было выполнено измерение реального пускового ускорения ПС. Это стало задачей второго эксперимента. Данные о величине ускорения были получены с трёхосевого акселерометра, который был зафиксирован на специальной металлической платформе. Платформа с датчиком располагалась на полу подвижного состава, так чтобы горизонтальная ось акселерометра  $X$  совпадала с осью вагона. Анализ и статистическая обработка данных осуществлялась аналогично. Гистограмма и плотность распределения среднего значения пускового ускорения представлено на рисунке 3.

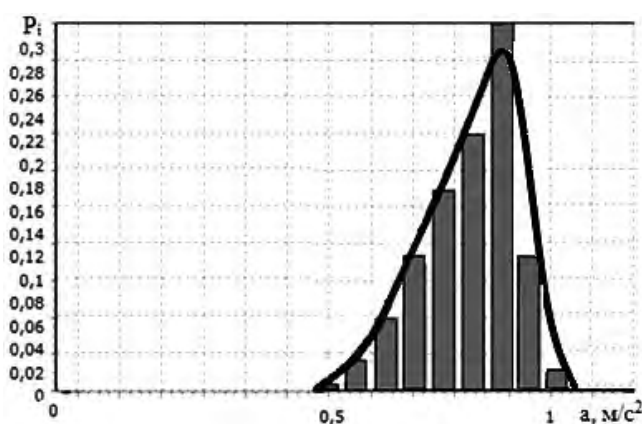


Рисунок 3 – Гистограмма и плотность вероятности среднего значения пускового ускорения

В результате подбора выравнивающей функции было установлено, что наиболее полной функцией распределения времени хода и ускорения является неполная гамма-функция.

На основании проведенных экспериментов можно сделать заключение, что низкая энергоэффективность режимов движения ПС связано с рядом причин. К ним относятся технические причины: эксплуатация устаревшего ПС и нештатная работа тягового оборудования. Кроме того существенное влияние оказывает человеческий фактор. Зачастую машинисты стараются прибыть на станцию раньше, чем определено графиком движения. Влияние внешних факторов так же вносит свой значительный вклад в нарушение расчётных режимов движения [4].

Каждая из перечисленных причин требует отдельных исследований и проведения дополнительных экспериментов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Наш транспорт: интернет-проект о трансп. в России и мире [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://wiki.nashtransport.ru>.
- 2 Сопов, В.И. Электроснабжение электрического транспорта: учеб. пособие / В.И. Сопов, Ю.А. Прокушев. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2006. -131 с.
- 3 Байрыева, Л.С. Электрическая тяга: учеб. для техникумов / Л.С. Байрыева. -М.: Транспорт, 1986. -206 с.
- 4 Баранов, Л.А. Оптимальное управление поездом метрополитена по критерию минимума энергозатрат / Л.А. Баранов, И.С. Мелёшин, Л.М. Чинь // Электротехника. -2011. -№8. -С. 9-14.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метрополитен, энергоэффективность, случайная величина, подвижной состав, оптимальный режим движения

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Калугин Михаил Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
Яковлева Кристина Евгеньевна, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»  
Лангеман Эвелина Гарриевна, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

## СРАВНЕНИЕ ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ДВУХСТОРОННЕЙ ЗУБЧАТОСТЬЮ ЯКОРЯ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

О.В. Рогова

### TRACTION PERFORMANCES OF LINEAR ELECTROMAGNETIC MOTORS WITH THE TWO-SIDE TEETH ARMATURE COMPARISON

Novosibirsk state technical university

O.V. Rogova

Traction performances of linear electromagnetic motors with the two-side teeth armature have been analyzed. The recommendations are stated how to improve the traction performances of electromagnetic motors with the magnetic core teeth system.

*Keywords: electromagnetic motor, magnetic core teeth system, traction force calculation*

Приведен анализ тяговых характеристик линейных электромагнитных двигателей с двухсторонней зубчатостью якоря. Даны рекомендации по улучшению тяговых характеристик электромагнитных двигателей с зубчатой системой магнитопровода.

Подход к решению вопроса о наиболее выгодных соотношениях между основными размерами тяговых электромагнитов может быть различным в зависимости от основных требований, предъявляемых к электромагнитному механизму. В настоящее время при создании новых конструктивных схем электромагнитных двигателей ряд вопросов, касающихся конструирования и исследования требуют дополнительного анализа в связи с многообразием конструктивных решений.

Как отмечалось ранее [1, 2], наилучшие результаты в получении тяговых характеристик специального вида, не допускающих удара в рабочем диапазоне перемещений якоря, достигаются применением электромагнитных двигателей специальной зубчатой конструкции элементов магнитопровода, что дает ряд преимуществ, когда отсутствие механической фиксации якоря сочетается со значительным тяговым усилием и относительно малыми размерами самого устройства. Исследования подобных электромагнитных двигателей с кольцеобразным якорем показали, что при конструктивном исполнении якоря, аналогично представленному на рисунке 1, а, возникают различные насыщения отдельных участков магнитопровода. В рамках данной статьи рассматривается возможность совершенствования конструктивных схем электромагнитных двигателей с двухсторонней зубчатостью якоря на основе предложенной новой конструкции элементов магнитопровода и якоря.

Представленные в работе результаты исследований получены с помощью конечно-элементного моделирования в программном пакете FEMM [3] для расчета тяговых характеристик линейных электромагнитных двигателей цилиндрической формы при строгом соблюдении следующих геометрических соотношений магнитной системы:

$$b_z/\tau = 0,4; \quad b_z/h_z = 1,0; \quad b_n/\tau = 0,6; \quad \Delta/\tau = 0,025,$$

где  $h_z$  – высота зубца;

$b_z, b_n$  – соответственно ширина зубца и паза зубцового деления  $\tau$ ;

$\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta$  – технологические зазоры (рисунок 2).

Причем конструктивные схемы 1 (рисунок 1а) и 2 (рисунок 1б) удовлетворяют условию  $l/h = 0,5$ , а конструктивные схемы 3 (рисунок 1в) и 4 (рисунок 1г) –  $l/h = 0,95$ .

При изучении картины поля линий магнитной индукции полагалось, что системы обладают геометрической симметрией относительно оси  $z$ . В процессе расчетов для каждого варианта рассчитывалась статическая тяговая характеристика при одинаковых значениях тока ( $I = 2$  А) и намагничивающей силы катушки ( $F = 500$  А). При этом значения индукции на участках магнитопровода, подверженных наибольшему насыщению находились в пределах 1,5–1,8 Тл.

Рассматриваемые конструктивные схемы (рисунок 2) содержат статор 1, с расположенной внутри катушкой 2 и кольцеобразным втяжным якорем 3. На внешнем и внутреннем диаметре якоря выполнены с равным шагом зубцовые элементы 4 и 5, расположенные перпендикулярно передаваемой силе. По внутренним диаметрам статора 1 выполнены с равным шагом ответные зубцовые элементы 6 и 7.

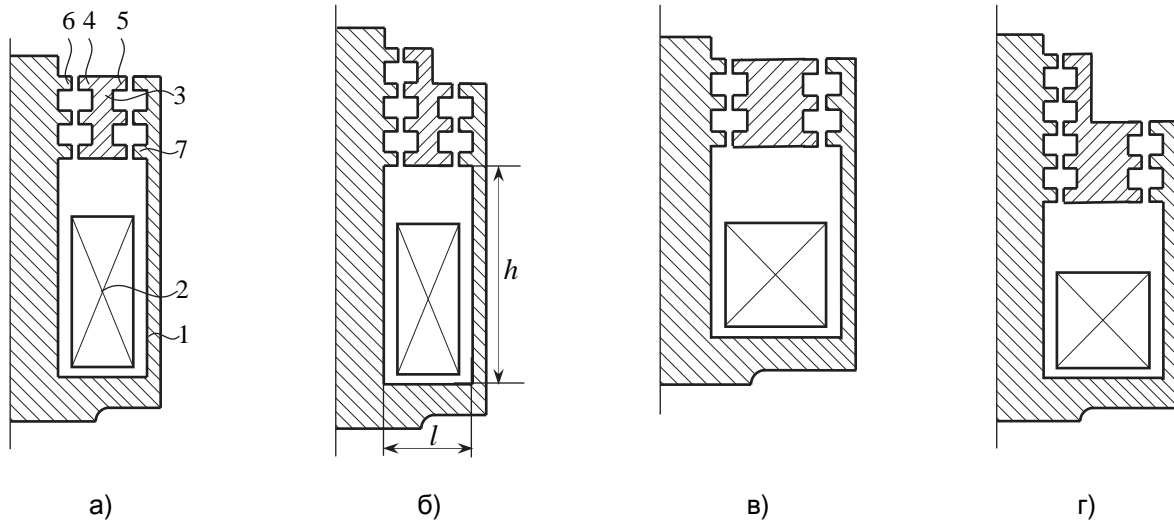


Рисунок 1 – Варианты конструктивных схем двигателей

На основании созданных конструктивных схем двигателей был произведен расчет тяговых характеристик на всем интервале рабочего хода якоря, равного  $\tau/2$  (рисунок 3). Номер кривой, указанный на рисунок 3, соответствует варианту конструктивной схемы, представленной на рисунок 2.

Положение прямоугольных по форме сечений зубцов якоря относительно зубцов на полюсах статора, указанное на рисунок 2, соответствует точке статической тяговой характеристики с координатой  $x = 5$  мм. Точка на графике (рисунок 3) с координатой  $x = 0$  соответствует начальному положению якоря.

Анализ полученных данных показывает, что наилучшими показателями обладает вариант конструктивной схемы 4 (рисунок 1г), который превосходит по силе тяги близкий к нему вариант 3 (рисунок 1в) в среднем в 1,14 раза, и в 1,33 раза конструктивную схему двигателя 1 (рисунок 1а).

Так же был проведен анализ распределения тягового усилия в зубцовой зоне электромагнитных двигателей (рисунок 1). Результаты исследований для вариантов конструктивных схем 1 (рисунок 4а и 4в) и 2 (рисунок 4б и 4г) в виде диаграмм, отражающих значения тяговых усилий, выраженных в процентах от результирующего усилия (в зависимости от участка зубцовой зоны) приведены на рисунке 4.

Процентные соотношения тягового усилия участков, характеризующих межзубцовые зоны (3-4, 7-8 и т.д.), на диаграммах не отображены, так как их суммарное значение в каждой из систем составило порядка 0,01-0,04% от результирующего значения.

При детальном рассмотрении влияния каждой из сторон зубцов на суммарное значение тягового усилия, создаваемого полем катушки вблизи зубцов, было установлено, что:

- на участках, характеризующих верхнюю часть зубцов (2-3, 6-7, 11-10, 14-15 и т.д.), тяговое усилие направлено против сил движения якоря и составляет около 6% от результирующего;

- для варианта 1 тяговое усилие на участках, характеризующих срединную (1-2, 5-6, 9-10, 13-14 и т.д.) часть зубцов, превосходит тяговое усилие, создаваемое нижней частью зубцов (0-1, 4-5, 8-9, 12-13 и т.д.), в 1,8 раза (рисунок 4в), а для варианта 3 – 4,2 раза, а для конструктивных схем 2 (рисунок 4г) и 4 – 4,3 раза.

На основании проведенных исследований получены следующие выводы:

- наиболее высокими показателями обладает электромагнитный двигатель с равным сечением элементов магнитопровода и якоря, выполненный по варианту конструктивной схемы 4;

- в результирующем значении тягового усилия, создаваемого полем катушки в области

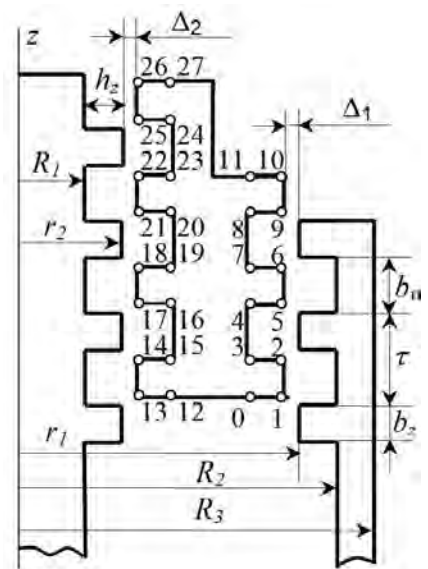


Рисунок 2 – Эскиз зубцовой зоны электромагнитного двигателя

зубцовой зоны двигателя, наибольшая доля тягового усилия приходится на участки, характеризующие срединную часть зубца (1-2, 5-6, 9-10, 13-14 и т.д.), и составляет 68% от результирующего значения для варианта 1, а для вариантов 2-4 порядка 85-86%;

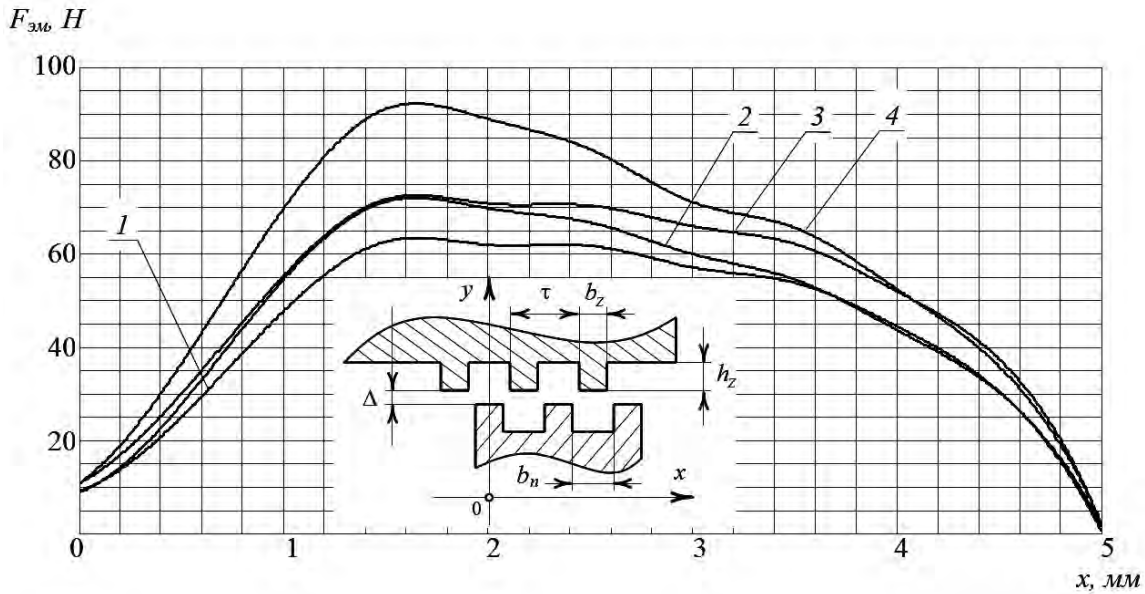


Рисунок 3 – Статические тяговые характеристики

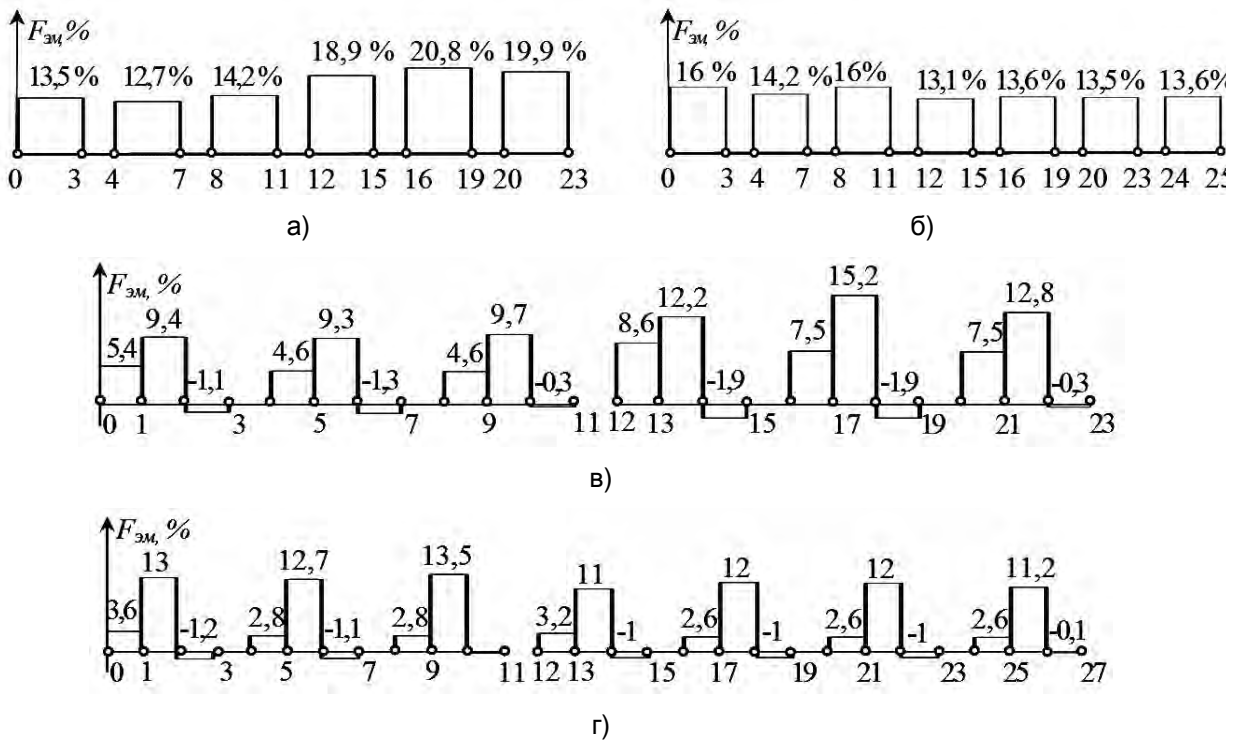


Рисунок 4 – Диаграмма распределения тягового усилия в зубцовой зоне якоря

– для конструктивных вариантов схем, в которых не выдержано равенство сечений магнитопровода и якоря, разница между тяговыми усилиями, вблизи зубцов, расположенных в области воздушного зазора  $\Delta_2$ , и зубцов, расположенных в области воздушного зазора  $\Delta_1$ , составляет 1,47 раза для варианта 1 и 1,77 раза для варианта 3. В то время как для конструктивных схем с равными сечениями магнитопровода и якоря эта разница составляет: для варианта 2 – 1,17 раза, а для варианта 4 – 1,13 раза;

– изменение площади сечения зубчатой зоны влияет на величину индукции в воздушных зазорах, расположенных на разном расстоянии от оси симметрии  $z$ . Так, например, разница между значениями индукции в воздушных зазорах  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  составляет 61% для ва-

рианта 1, эта разница 54% – для варианта 3 и в пределах 25-27% для вариантов 2 и 4;

– существенная разница в значениях магнитной индукции в воздушных зазорах для первого и третьего вариантов конструктивных схем приводит к тому, что область магнитопровода, расположенная ближе к оси симметрии  $z$  и граничащая с воздушным зазором  $\Delta_2$ , перенасыщается, в то время как область, расположенная ближе к воздушному зазору  $\Delta_1$ , имеет сравнительно невысокое значение магнитной индукции в сечении, что в свою очередь приводит к увеличению магнитного сопротивления стали и снижению величины проходящего магнитного потока, и, как следствие, к снижению тяговых характеристик двигателя.

Современный уровень машиностроения позволяет реализовать конструктивные схемы электромагнитных двигателей цилиндрической формы с равным сечением элементов магнитопровода и якоря с двухсторонней зубчатостью. Подобное конструктивное исполнение позволяет снизить перенасыщение отдельных элементов магнитопровода и существенно повысить тяговые характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Нейман, Л.А. К исследованию тяговых характеристик электромагнитных приводов с учетом зубчатости элементов магнитопровода / Л.А. Нейман, О.В. Рогова // Докл. Акад. наук высш. шк. Рос. Федерации. -2013. -№1. -С. 100-108.

2 Нейман, Л.А. Новые типы магнитных систем электромагнитных двигателей с зубчатыми элементами магнитопровода / Л.А. Нейман, О.В. Рогова, В.Ю. Нейман // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы 4 междунар. науч.-практ. конф. - Саратов, 2013. -С. 227-229.

3 Буль, О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Магнитные цепи, поля и программа FEMM / О.Б. Буль. -М.: Академия, 2005. -336 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *электромагнитный двигатель, зубчатая система магнитопровода, расчет тягового усилия*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** *Рогова Ольга Валерьевна, ассистент ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕПОЛНОФАЗНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ПОЛЕМ**

**ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**

**Г.И. Однокопылов, А.Д. Брагин**

**MATHEMATICAL MODEL OF INDUCTION MOTOR IN PHASE FAILURE MODE WITH ELLIPTICAL FIELD**

National research Tomsk polytechnic university

G.I. Odnokopylov, A.D. Bragin

The results of modeling transient phase loss motor stator is gave. The comparison of the timing chart of speed and current obtained experimentally and using a mathematical model is performed.

*Keywords: mathematical model of the induction motor, phase failure mode, loss of motor phase, matrix of motor failures*

Приведены результаты моделирования переходных процессов при обрыве фазы статора двигателя. Выполнено сравнение временных диаграмм по частоте вращения и току полученных экспериментально и при помощи математической модели.

При рассмотрении двухфазного режима работы трехфазного асинхронного двигателя можно выделить два различных режима:

– работа в аварийном режиме с эллиптическим полем;

– работа в аварийном режиме с алгоритмическим формированием кругового вращающегося поля в частотно-регулируемом электроприводе [3].

Если электродвигатель выполнен по схеме со связанными фазами[1], то в нем отсутствуют условия для алгоритмического формирования кругового поля, и единственным возможным вариантом является работа с эллиптическим полем.

При рассмотрении аварийного двухфазного режима работы двигателя с эллиптическим полем в воздушном зазоре его можно разложить на поля прямой и обратной последовательности, используя метод симметричных составляющих. Обобщенная модель электрической машины учитывает лишь поле прямой последовательности. Существует два варианта представления модели асинхронного двигателя, работающего с эллиптическим полем – модель обобщенной электрической машины с двумя статорами и двумя роторами, модель

обобщенной электрической машины с двумя статорами и одним ротором [2]. Для формирования математической модели выбрана модель с двумя статорами и двумя ротором, так как эта модель более проста в описание (рисунок 1).

При определении напряжений, подаваемых на обмотки машин, отвечающих за поля прямой и обратной последовательности, учитывалось, что при постоянном питающем напряжении  $U_1 = U_A = U_B = U_C = \text{Const}$  напряжения прямой и обратной последовательности зависят от скольжения [3].

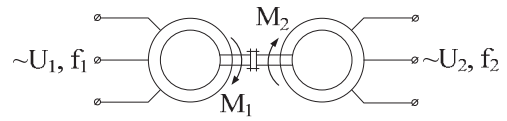


Рисунок 1 – Схема электрической машины с двумя статорами и двумя роторами

Итоговое выражения для уравнений поля:

– прямой последовательности

$$\frac{d[i_{1л}]}{dt} = [L_1]^{-1} \left\{ [U_{1л}] - \left( [R] + [L_2] \frac{\omega}{\sqrt{3}} \right) [i_{1\phi}] \right\};$$

– обратной последовательности

$$\frac{d[i_{2л}]}{dt} = [L_1]^{-1} \left\{ [U_{2л}] - \left( [R] + [L_2] \frac{\omega}{\sqrt{3}} \right) [i_{2\phi}] \right\},$$

где  $[i_{1л}], [i_{2л}], [i_{1\phi}], [i_{2\phi}]$  – матрица неизвестных (линейные и фазные токи статора и ротора прямой и обратной последовательностей соответственно);

$[U_{1л}], [U_{2л}]$  – матрица линейных напряжений прямой и обратной последовательностей.

При работе в трехфазном режиме поля обратной последовательности в воздушном зазоре отсутствуют, и соответствующие уравнения в расчетах не участвуют.

Для имитации обрыва фазы статора необходимо в исходные выражения для уравнений поля прямой последовательности и обратной последовательности ввести матрицу отказов, позволяющую переходить в аварийный двухфазный режим работы

$$[M] = \begin{bmatrix} M_A & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_B & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Нулевое состояние переменных  $M_A, M_B, M_C$  будет соответствовать номинальному трехфазному режим работы, а единичное – обрыву соответствующей фазы обмотки статора. Тогда итоговое выражение для матрицы активных сопротивлений примет следующий вид

$$[R_M] = [R] \{ [1] + k_{обр} [M] \},$$

где  $[1]$  – единичная матрица, размером 6х6;

$k_{обр}$  – коэффициент, имитирующий введение высокоомного сопротивления в цепь статора АД.

Выражения для уравнений полей прямой и обратной последовательности примут следующий вид соответственно:

$$\frac{d[i_{1л}]}{dt} = [L_1]^{-1} \left\{ [U_{1л}] - \left( [R_M] + [L_2] \frac{\omega}{\sqrt{3}} \right) [i_{1\phi}] \right\}; \quad \frac{d[i_{2л}]}{dt} = [L_1]^{-1} \left\{ [U_{2л}] - \left( [R_M] + [L_2] \frac{\omega}{\sqrt{3}} \right) [i_{2\phi}] \right\}.$$

Имитация обрыва фазы статора осуществляется путем приравнивания коэффициента  $M_A, M_B$  или  $M_C$ , соответствующего отказавшей фазе, единице. При этом на выводы обмотки машины, отвечающей за поля обратной последовательности, подается напряжение, зависящее от текущего значения скольжения, и она подключается встречно с машиной прямой последовательности.

Расчет модели проводился в среде Matlab Simulink. Адекватность предложенной математической модели была проверена путем сравнения расчетных и экспериментальных данных полученных при помощи автоматизированного испытательного стенда рисунок 2. Результаты сравнения переходных процессов, рассчитанных на модели и полученных экспериментально, приведены на рисунке 3.



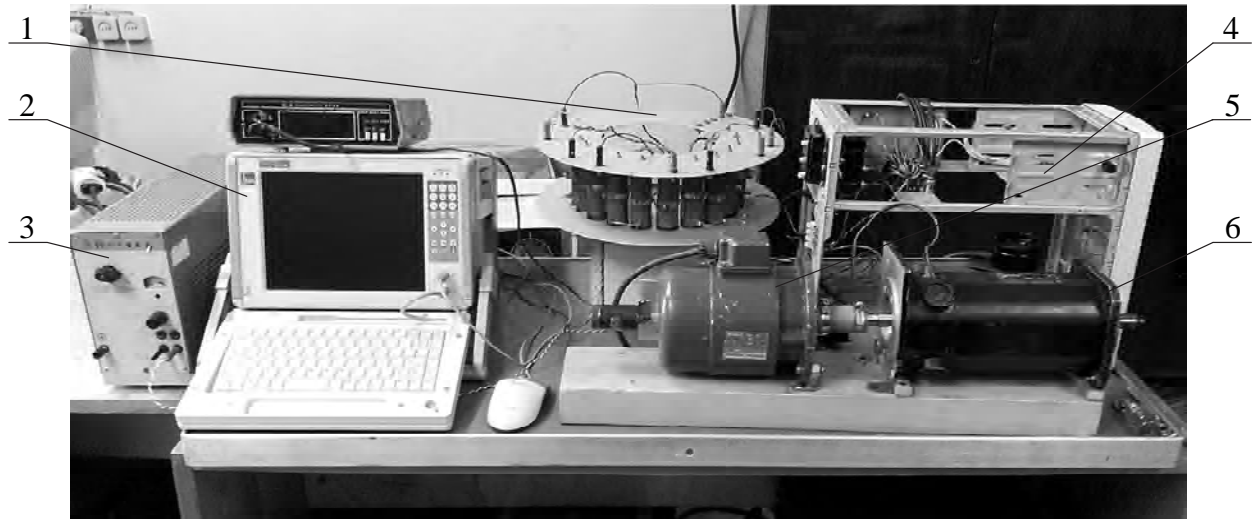


Рисунок 2 – Автоматизированный испытательный стенд для исследования аварийных и неполнофазных режимов работы асинхронного двигателя: 1-резистивная нагрузка; 2-компьютерная измерительная система МИС-300; 3-источник питания; 4-блок формирования аварийных режимов работы; 5-асинхронный двигатель АИР63А2; 6-машина постоянного тока серии ППИ 12.11

Разница между частотой вращения двигателя и амплитудой тока, полученных экспериментально и на математической модели, в трехфазном установившемся режиме работы составляет 3,6% и 2,1% соответственно. В аварийном двухфазном режиме работы эта разница составляет 4,9% для частоты вращения и 3,8% для тока для установившихся значений. Отклонения в переходных режимах работы вызваны принятыми в ходе составления математической модели допущениями, а также несимметрией питающей сети при проведении эксперимента.

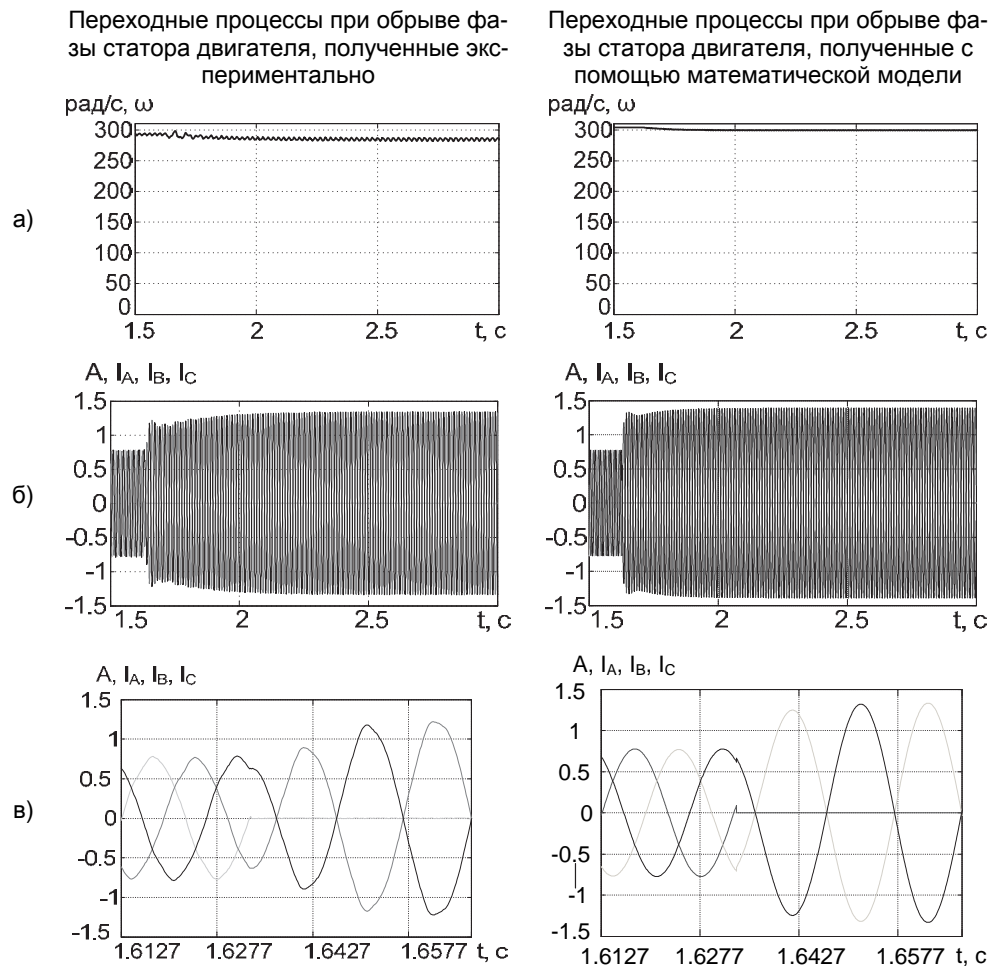


Рисунок 3 – Переходные процессы при обрыве фазы статора двигателя, полученные экспериментально и при помощи математической модели: а)-по скорости; б)-по току; в)-развернутые временные диаграммы по току

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет исследовать асинхронный электродвигатель в аварийном двухфазном режиме работы с учетом поля обрат-



ной последовательности.

**Вывод.** На основе разработанной имитационной модели в среде Matlab Simulink и проведенных подтверждающих экспериментов для случая обрыва фазы статора асинхронного двигателя при эллиптическом вращающемся поле расхождение результатов по току составило 4,9%, по частоте вращения составило 3,8% в установившемся режиме, и в трехфазном установившемся режиме работы – по току 2,1%, по частоте вращения составило 3,6%, что подтверждает адекватность разработанной математической модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Микроэлектронные электросистемы. Применение в радиоэлектронике / Ю.И. Конев [и др.]; под ред. Ю.И. Конева. -М.: Радио и связь, 1987. -240 с.: ил.
- 2 Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 2001. -327 с.
- 3 Однокопылов, Г.И. Обеспечение живучести электродвигателей переменного тока: монография / Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов. -Томск: Изд-во ТПУ, 2005. -187 с.
- 4 Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины. В 2 т. Т.1: учеб. для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Изд-во МЭИ, 2004. -652 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** математическая модель асинхронного двигателя, неполнофазный режим работы, обрыв фазы, матрица отказов двигателя  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Однокопылов Георгий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
Брагин Александр Дмитриевич, студент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЯХ В ОБМОТКЕ РОТОРА

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Н.О. Шадрина, Т.И. Розум, В.И. Полищук**

**SIMULATION OF SYNCHRONOUS GENERATOR WITH FAULT BETWEEN TURNS IN THE ROTOR WINDING**  
National research Tomsk polytechnic university  
N.O. Shadrina, T.I. Rozum, V.I. Polishchuk

Mathematical model of synchronized generator has been worked out for counting current in time of exploiting, accidental regimes, and for short circuit of rotor. Results have been made in current modelling and in experimental test of synchronized generator's work in time of exploiting and accidental regimes.

*Keywords: simulation, fault between turns, synchronous generator, rotor winding*

Усовершенствована математическая модель явнополюсного синхронного генератора для расчета токов в эксплуатационных, аварийных режимах и при витковом замыкании ротора. Приведены результаты моделирования токов и экспериментальная проверка работы синхронного генератора в эксплуатационных и аварийных режимах.

Для анализа процессов в синхронном генераторе (СГ) при витковом замыкании (ВЗ) в цепи ротора надо знать токи во всех обмотках машины как в нормальных эксплуатационных, так и в аварийных режимах работы [1, 2].

Получение токов экспериментальным путем в аварийных и несимметричных режимах работы СГ технически затруднительно и экономически нецелесообразно. Необходимо создание математической модели, учитывающей особенности измерения параметров в реальных условиях и возможность расчета численными методами на ПК [3].

Адекватность работы модели проверяется сопоставлением полученных результатов с данными, снятыми на реальном СГ. Поскольку на электростанциях трансформаторы напряжения устанавливаются на линейные напряжения, то систему дифференциальных уравнений желательно также представить для линейных напряжений согласно законам Кирхгофа. Целью данной работы является представление результатов по усовершенствованию математической модели работы СГ для расчета токов при ВЗ в обмотке ротора.

**Постановка задачи.** Исследовать возможность моделирования витковых замыканий в обмотке ротора на основе математической модели СГ, в которой система дифференциальных уравнений составлена по законам Кирхгофа для линейных напряжений генератора.

Схема СГ приведена на рисунке 1.

Система дифференциальных уравнений составляется с помощью второго закона Кирх-

гофа методом контурных токов на основе схемы замещения рисунок 2.

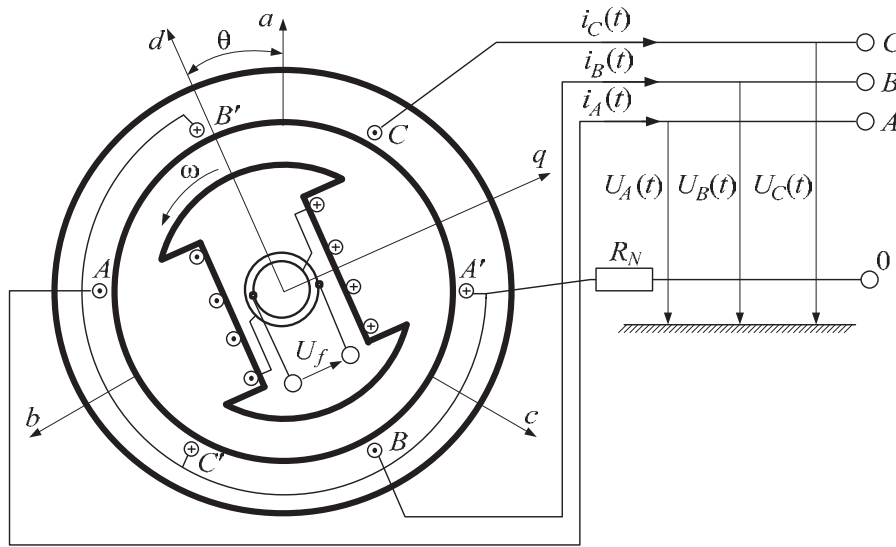


Рисунок 1 – Схема синхронного генератора

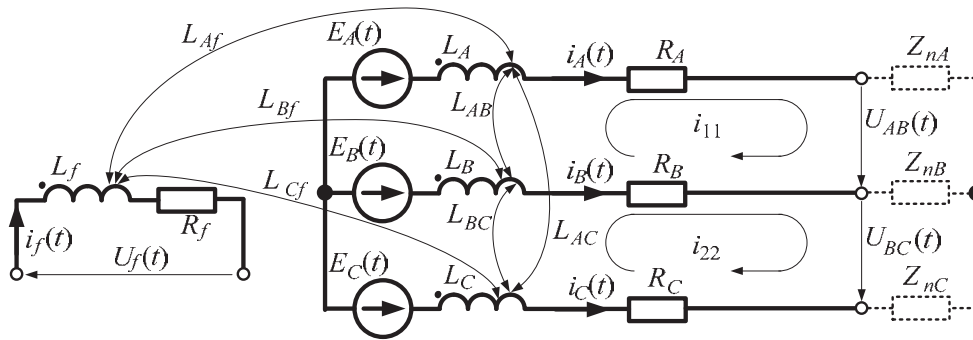


Рисунок 2 – Схема замещения СГ без демпферных контуров

Для решения системы дифференциальных уравнений численными методами необходимо привести их к нормальной форме Коши, используя матричную запись

$$u = \frac{d\Psi}{dt} + Ri, \tag{1}$$

- где  $u$  – матрица мгновенных напряжений СГ;
- $\Psi$  – матрица потокосцепления обмоток;
- $R$  – матрица активных сопротивлений обмоток СГ;
- $i$  – матрица токов в обмотках.

Матрица активных сопротивлений контуров

$$R = \begin{bmatrix} R_A + R_B & -R_B & 0 \\ -R_B & R_B + R_C & 0 \\ 0 & 0 & R_f \end{bmatrix}.$$

Матрица индуктивностей и взаимных индуктивностей контуров

$$L = \begin{bmatrix} L_A - L_{AB} - L_{BA} + L_B & L_{AB} - L_B - L_{AC} + L_{BC} & L_{Af} - L_{Bf} \\ L_{BA} - L_{CA} - L_B + L_{CB} & L_B - L_{BC} - L_{CB} + L_C & L_{Bf} - L_{Cf} \\ L_{fA} - L_{fB} & L_{fB} - L_{fC} & L_f \end{bmatrix}.$$

Матрица токов и линейных напряжений

$$i^T = [i_{11} \quad i_{22} \quad i_f]; \quad u^T = [-u_{AB} \quad -u_{BC} \quad u_f].$$

Связь между контурными токами и токами фаз:

$$i_{11} = i_A; \quad i_{22} = -i_C; \quad i_B = i_{22} - i_{11}.$$

В нормальной форме Коши уравнение (1) примет вид

$$-\frac{d\Psi}{dt} = Ri - u.$$

Поскольку в качестве решения выступают токи и учитывая, что потокосцепление  $\Psi = Li$  окончательно

$$\frac{di}{dt} = L^{-1}(Ri - u), \quad (2)$$

где  $L^{-1}$  – обратная матрица.

Задав время начала расчета и начальные условия на момент времени  $t_{0+}$  рассчитываются токи в обмотках СГ одним из численных методов. На рисунке 3 приведены результаты моделирования и экспериментальные кривые токов трехфазного короткого замыкания из режима холостого хода генератора ГАБ-4-Т/230 (в момент КЗ напряжения  $u_{AB}$  и  $u_{BC}$  приравнялись к нулю). Погрешность расчета токов по амплитуде не превышает 7%, что говорит о корректности модели.

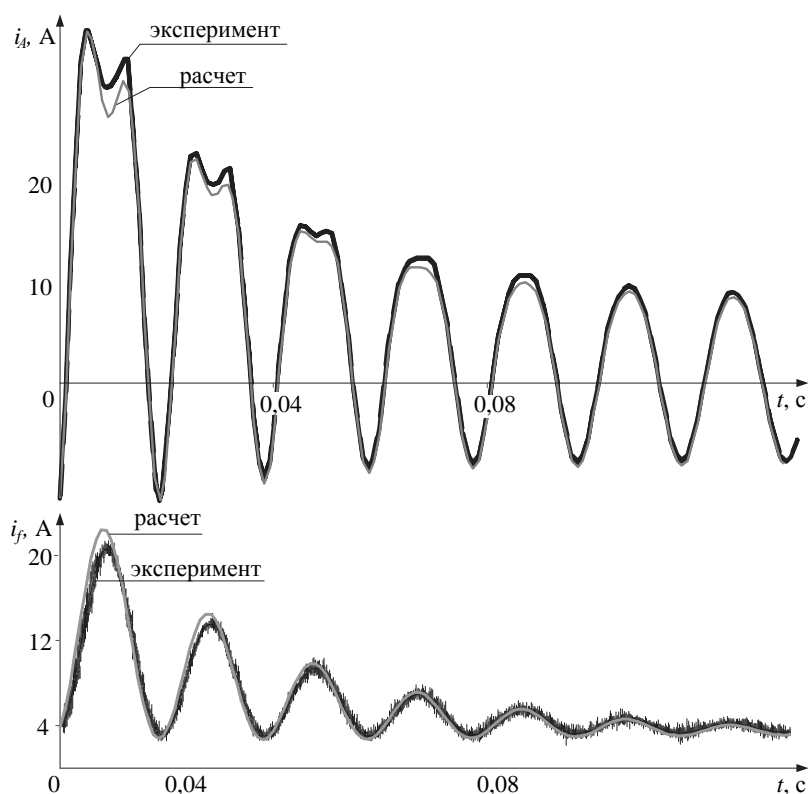


Рисунок 3 – Токи в фазе  $i_A$  и ток возбуждения  $i_f$  при трехфазном КЗ на выводах ГАБ-4-Т/230 из режима холостого хода

Моделирование работы СГ при межвитковом замыкании в обмотке ротора производится аналогично расчету для неповрежденного СГ по формуле (2) но матрицы индуктивностей  $L$  и активных сопротивлений  $R$  при этом видоизменяются.

При возникновении ВЗ в обмотке ротора возникает еще один короткозамкнутый контур, и размерность всех матриц увеличивается на единицу. Схема замещения СГ при наличии ВЗ в обмотке ротора представлена на рисунке 4.

Матрица активных сопротивлений контуров СГ при ВЗ имеет вид

$$R = \begin{bmatrix} R_A + R_B & -R_B & 0 & 0 \\ -R_B & R_B + R_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R'_f & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{kf} \end{bmatrix},$$

где  $R'_f$  – сопротивление обмотки возбуждения после ВЗ;

$R_{kf}$  – сопротивление замкнутого витка.

Матрица индуктивностей и взаимных индуктивностей контуров

$$L = \begin{bmatrix} L_A - L_{AB} - L_{BA} + L_B & L_{AB} - L_B - L_{AC} + L_{BC} & L_{Af} - L_{Bf} & L_{Akf} - L_{Bkf} \\ L_{BA} - L_{CA} - L_B + L_{CB} & L_B - L_{BC} - L_{CB} + L_C & L_{Bf} - L_{Cf} & L_{Bkf} - L_{Ckf} \\ L_{fA} - L_{fB} & L_{fB} - L_{fC} & L'_f & L_{f kf} \\ L_{kfA} - L_{kfB} & L_{kfB} - L_{kfC} & L_{kf f} & L_{kf} \end{bmatrix},$$

где  $L'$  – индуктивность обмотки возбуждения после возникновения замыкания;  
 $L_{kf}$  – индуктивность замкнутого витка;  
 $L_{Akf}, L_{Bkf}, L_{Ckf}$  – взаимные индуктивности между обмотками фаз статора и короткозамкнутыми витками;  
 $L_{f kf}$  – взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и короткозамкнутыми витками.

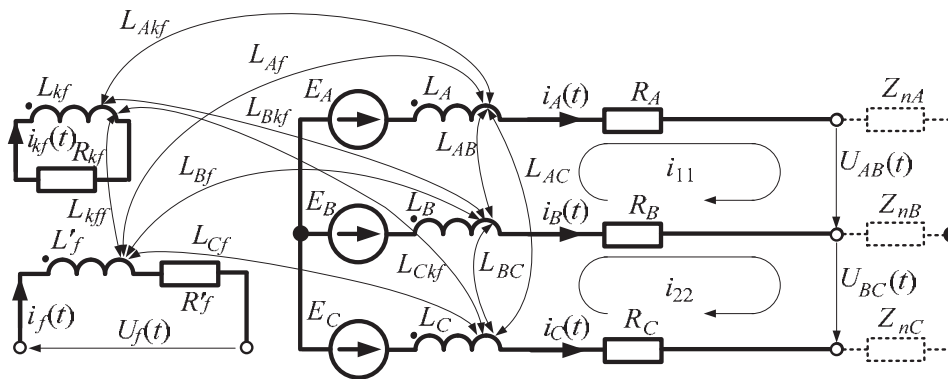


Рисунок 4 – Схема замещения СГ с ВЗ без демпферных контуров

Матрица токов в контурах

$$i^T = [i_{11} \ i_{22} \ i_f \ i_{kf}]; \quad u^T = [u_{AB} \ u_{BC} \ u_f \ 0].$$

где  $i_{kf}$  – ток в короткозамкнутом контуре.

На ГАБ-4-Т/230 рисунок 5 показаны расчетные и экспериментальные кривые тока возбуждения при замыкании 12% витков обмотки ротора генератора. СГ работал на автономную нагрузку близкую к половине от номинальной. Время переходного процесса при расчете и на осциллограмме практически одинаково, по величине расчетные и снятые экспериментально токи близки.

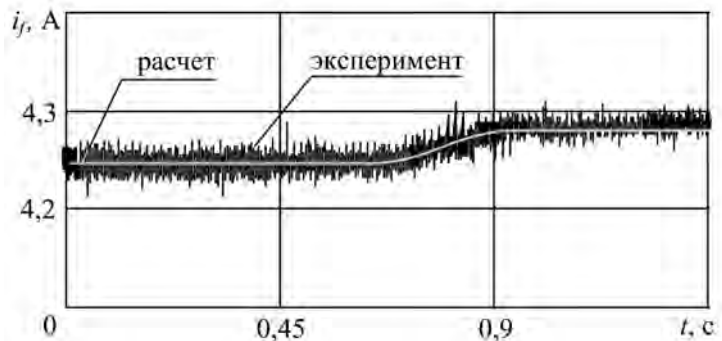


Рисунок 5 – Ток возбуждения при замыкании 12% витков обмотки ротора ГАБ-4-Т/230

**Выводы:**

1 Усовершенствован метод моделирования работы синхронного генератора при наличии виткового замыкания в обмотке ротора, в которой система дифференциальных уравнений составлена для линейных напряжений с использованием метода контурных токов. Это позволило сократить количество уравнений.

2 Установлено, что погрешность моделирования не превышает 10-15% в самом неблагоприятном случае, что удовлетворяет требованиям релейной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Куликов, Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: учеб. пособие / Ю.А. Куликов. -Новосибирск: НГТУ; -М.: Мир: АСТ, 2003. -283 с.  
 2 Веников, В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах / В.А. Веников. -М.: Высш. шк., 1970. -472 с.  
 3 Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины / А.В. Иванов-Смоленский. -М.: Энергия, 1980. -909 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** моделирование, межвитковое замыкание, синхронный генератор, обмотка ротора  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Шадрина Наталья Олеговна, магистрант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
 Розум Татьяна Игоревна, магистрант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
 Полищук Владимир Иосифович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

## ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**Г.И. Однокопылов, А.Д. Брагин**

**VECTOR CONTROL OF FAULT TOLERANT INDUCTION MOTOR DRIVES**

National research Tomsk polytechnic university

G.I. Odnokopylov, A.D. Bragin

The principle of the construction of vector control system fault-tolerant induction motor drive is considered. The results of modeling transient phase loss motor stator are shown.

*Keywords: induction motor electric drive, phase failure mode, loss of motor phase, vector control*

Рассмотрен принцип построения системы векторного управления отказоустойчивым асинхронным электроприводом. Приведены результаты моделирования переходных процессов при обрыве фазы статора двигателя.

Применение асинхронных электроприводов с векторной системой управления с составе технических объектов опасных производств (ядерных, военных, химических и т.д.) неразрывно связано с повышением их отказоустойчивости и живучести.

Задача разработки алгоритмов отказоустойчивого управления для асинхронного электропривода с векторным управлением на основе моделирования системы управления в настоящий момент не решена.

Принцип векторного управления основан на постоянной ориентации системы координат по направлению какого-либо вектора, что позволяет приравнять проекцию этого вектора на другую ось декартовой системы координат к нулю [1]. Система управления вырабатывает сигналы управления во вращающейся двухфазной системе координат, которые затем преобразуются в трехфазную систему для управления преобразователем частоты. Рассмотрим процедуру преобразования для случая аварийного двухфазного режима.

Для вывода требуемых выражений воспользуемся понятием обобщенного пространственного вектора [2]. Обозначив векторы токов, произвольно сдвинутых относительно вещественной оси координат на углы  $\lambda, \mu, \nu$  в обмотках А, В, С статора  $I_A, I_B, I_C$  соответственно и сложив их, можно записать выражение для пространственного вектора тока, как

$$\bar{I} = \frac{2}{3}(\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C) = \frac{2}{3}[I_A \exp(j\lambda) + I_B \exp(j\mu) + I_C \exp(j\nu)],$$

где  $\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$  – векторы фазных токов

$$\bar{I}_A = I_A \exp(j\lambda); \bar{I}_B = I_B \exp(j\mu); \bar{I}_C = I_C \exp(j\nu);$$

$I_A, I_B, I_C$  – их мгновенные значения.

Обозначив вещественную и мнимую ось как а и b, запишем выражение для обобщенного вектора тока

$$\bar{I} = i_a + j i_b$$

Учитывая пространственные углы сдвига токов  $\lambda, \mu, \nu$  и разделяя вещественную и мнимую часть, получим:

$$i_a = \operatorname{Re}(\bar{I}) = \frac{2}{3}(I_A \cos \lambda + I_B \cos \mu + I_C \cos \nu);$$

$$i_b = \operatorname{Im}(\bar{I}) = \frac{2}{3}(I_A \sin \lambda + I_B \sin \mu + I_C \sin \nu).$$

Обозначив составляющую тока нулевой последовательности как  $i_0 = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C)$ , запи-

шем выражения для токов в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \lambda & \cos \mu & \cos \nu \\ \sin \lambda & \sin \mu & \sin \nu \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}.$$

Обратное преобразование из неподвижной двухфазной системы координат  $a, b, 0$  в трехфазную  $A, B, C$  будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} \cos \lambda & \cos \mu & \cos \nu \\ \sin \lambda & \sin \mu & \sin \nu \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_0 \end{bmatrix}.$$

Известно условие существования кругового вращающегося поля в электрической машине с двумя произвольно сдвинутыми в пространстве обмотками [3]:

$$\delta + \beta = \pi; F_{AM} = F_{CM}, \quad (2)$$

где  $F_{AM}, F_{CM}$  – амплитудные значения магнитодвижущих сил;

$\delta$  – угол пространственного сдвига обмоток;

$\beta$  – угол временного сдвига токов обмоток несимметричной двухфазной электрической машины.

Угол пространственного сдвига обмоток остается в 3-фазной электрической машине постоянным и равным  $\delta = 2\pi/3$ , временной сдвиг по фазе можно задавать как  $\beta = \pi/3$  и при формировании фазных токов одинаковой амплитуды имеет место равенство амплитудных значений магнитодвижущих сил несимметричного двухфазного электродвигателя

$$F_{AM} = F_{CM} = F_M,$$

с формированием кругового вращающегося поля.

Рассмотрим алгоритм смещения векторов тока при обрыве фазы статора. Зафиксируем вектор тока  $I_A$ , приняв угол  $\lambda = 0$ , тогда при наступлении аварийной ситуации в фазе В или С вектор тока будет смещаться на угол  $-\pi/3$  и  $\pi/3$  соответственно. При обрыве фазы А вектор  $I_C$  сместится на встречу вектору  $I_B$  на угол  $\pi/3$  (рисунок 1).

Принимая во внимание представленные выше условия существования кругового вращающегося поля, запишем общее выражение для координатного преобразования, учитывающее режим работы электропривода:

$$\begin{bmatrix} \bar{a} & 0 & 0 \\ 0 & \bar{b} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \frac{3}{2} \begin{bmatrix} 1 & \cos \left[ \frac{2\pi}{3} + c \left( -\frac{\pi}{3} \right) + a \frac{\pi}{6} \right] & \cos \left[ -\frac{2\pi}{3} + c \frac{\pi}{3} + a \left( -\frac{\pi}{6} \right) \right] \\ 0 & \sin \left[ \frac{2\pi}{3} + c \left( -\frac{\pi}{3} \right) + a \frac{\pi}{6} \right] & \sin \left[ \frac{2\pi}{3} + c \left( -\frac{\pi}{3} \right) + a \frac{\pi}{6} \right] \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $a, b, c$  – бит отказа фазы А, В, С соответственно;

$\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$  – инверсные значения битов отказа.

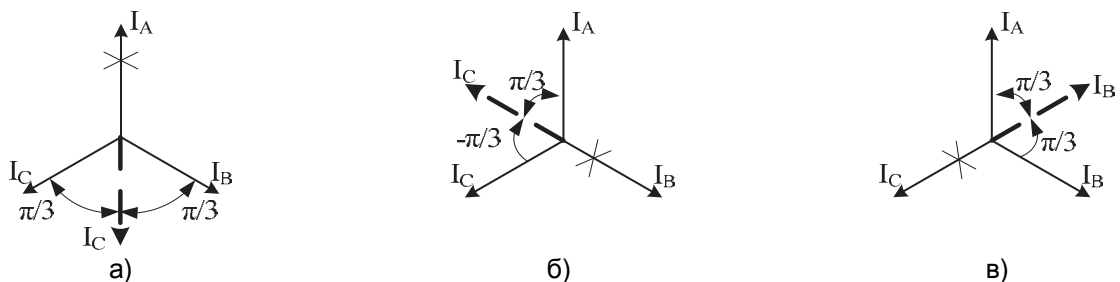


Рисунок 1 – Сдвиги векторов тока в аварийном двухфазном режиме: а)-авария в фазе А; б)-авария в фазе В; в)-авария в фазе С

Система векторного управления содержит регулятор потокосцепления и скорости, а также три регулятора тока. Сигнал задания на ток, вырабатываемый регуляторами потокосцепления и скорости поступает в координатный преобразователь, где происходит преобразование из вращающейся системы координат  $xu$  в неподвижную  $ab$ . Далее в зависимости от режима работы происходит преобразование согласно выражению (3).

Для моделирования был выбран двигатель АИР63А2. Оптимизация контуров производилась согласно методике, представленной в [4]. Расчет модели проводился в среде Matlab Simulink. На рисунке 2. представлены переходные процессы по току, частоте вращения и моменту, протекающие в электродвигателе в случае возникновения аварии без использования алгоритма восстановления.

Из приведенных переходных процессов (рисунок 2) видно, что в случае возникновения аварийной ситуации происходит увеличение токов,

протекающих по обмотке статора, и опрокидывание двигателя, при этом электромагнитный момент меняет свой знак, то есть становится тормозным. Изменение электромагнитного момента определяется следующими факторами. Во-первых, в воздушном зазоре машины возникает эллиптическое поле, которое создает дополнительный тормозной момент и уменьшает перегрузочную способность. Второй причиной является некорректная работа системы управления, которая рассчитана для трехфазного режима. Так, при переходе в двухфазный режим при выполнении двигателя по схеме с развязанными фазами сумма токов статора становится не равной нулю, что ведет к неверному координатному преобразованию в прямом координатном преобразователе. Все вышеперечисленные особенности приводят к неработоспособности электропривода в двухфазном режиме работы.

На рисунке 3 приведены переходные процессы при обрыве фазы статора В с использованием алгоритма восстановления, представленного выражением (3).

При использовании алгоритма восстановления (рисунок 3) происходит увеличение амплитуды тока, что обусловлено необходимостью компенсации недостатка мощности, возникшей вследствие обрыва фазы статора. Частота вращения носит колебательный характер и амплитуда колебаний не превышает 2,9% от заданной частоты вращения, при этом провал по частоте вращения во время переходного процесса достигает 15,5% от заданной частоты.

**Выводы:**

1 Разработан метод координатного преобразования, учитывающий сдвиг векторов тока алгоритма восстановления и обеспечивающий построение системы векторного управления,

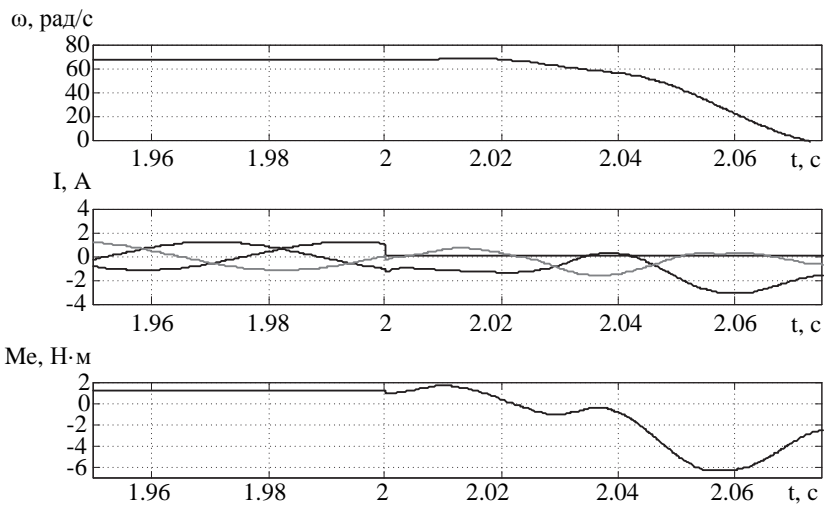


Рисунок 2 – Переходные процесс в электроприводе с векторным управлением при обрыве фазы статора

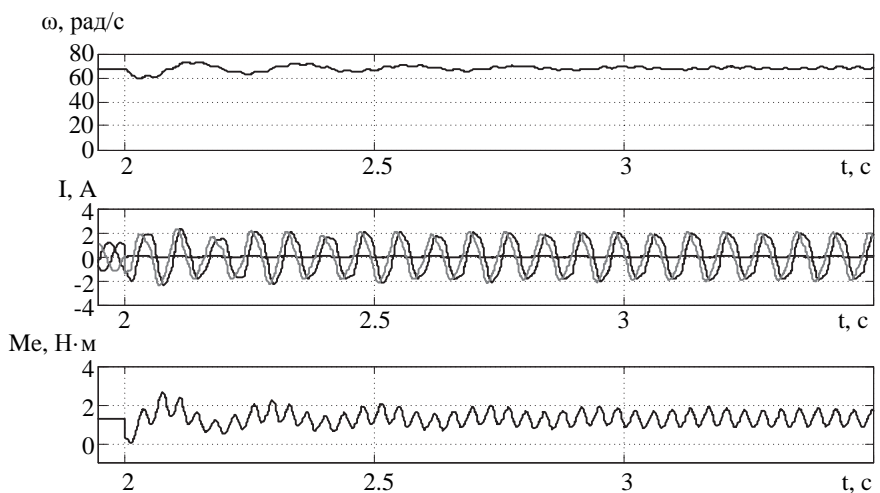


Рисунок 3 – Переходные процесс в электроприводе с векторным управлением при обрыве фазы статора и использовании алгоритма восстановления



которая при аварийном отключении фазы двигателя сохраняет круговое вращающееся поле в воздушном зазоре и обеспечивает восстановление работоспособности двигателя с номинальным моментом и частотой вращения.

2 Разработанная имитационная модель трехфазного асинхронного электропривода с векторной системой управления в среде Matlab Simulink позволяет исследовать электропривод в аварийном двухфазном режиме работы.

3 Показано, что в процессе восстановления работоспособности трехфазного асинхронного электропривода с векторной системой управления и использованием алгоритма восстановления работоспособности амплитуда колебания частоты вращения в установившемся режиме не превышает 2,9% от заданной частоты вращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чернышев, А.Ю. Электропривод переменного тока: учеб. пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томск. политехн. ун-т. -Томск: Изд-во ТПУ, 2011. -213 с.
- 2 Усольцев, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: учеб. пособие / А.А. Усольцев. -СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. -94 с.
- 3 Юферов, Ф.М. Электрические машины автоматических устройств / Ф.М. Юферов. -М.: Высш. шк., 1988. -479 с.
- 4 Мальцева, О.П. Системы управления электроприводов: учеб. пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удуг, Н.В. Кояин. -Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2007. -152 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** асинхронный электропривод, неполнофазный режим работы, обрыв фазы, векторное управление

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Однокопылов Георгий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
Брагин Александр Дмитриевич, студент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Г.И. Однокопылов, А.Д. Брагин

**MATHEMATICAL MODEL OF INDUCTION MOTOR IN EMERGENCY MODE**

National research Tomsk polytechnic university

G.I. Odnokopylov, A.D. Bragin

The process of formation of a mathematical model of induction motor in phase failure emergency mode in the absence of the connection midpoint of the stator winding and neutral power supply is considered.

*Keywords: mathematical model of the induction motor, phase failure mode, loss of motor phase*

Рассмотрен процесс формирования математической модели асинхронного двигателя в неполнофазном аварийном режиме работы с учетом отсутствия соединения средней точки обмотки статора и нейтрали источника питания.

Исследование аварийных состояний асинхронного двигателя в составе исполнительных электроприводов опасных производственных объектов предполагает рассмотрение работы двигателя в неполнофазных режимах работы.

Процессы, протекающие в электродвигателе при обрыве фазы статора, зависят от схемы соединения средней точки обмотки статора и нейтрали источника питания. Так, при выполнении двигателя по схеме со связанными фазами [1] в случае наступления аварийной ситуации, две оставшиеся фазы оказываются соединенными последовательно и подключенными на линейное напряжение, по ним протекает один и тот же ток, а в отключенной обмотке ток отсутствует (рисунок).

Целью настоящей статьи является составление математической модели асинхронного двигателя, которая позволит исследовать электромеханические переходные процессы, протекающие в асинхронном двигателе со связанными фазами при обрыве фазы статора.

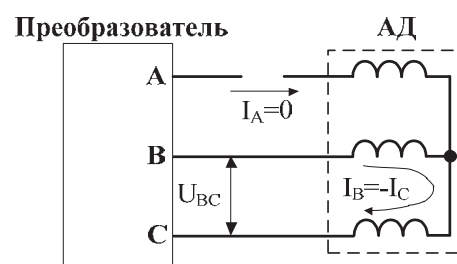


Рисунок – Соединение обмоток двигателя по схеме «звезда» после обрыва фазы



При исследовании несимметричных машин с учетом пространственных гармоник или при наличии несинусоидальных питающих напряжений приводить машину к двухфазной неправомерно, так как поля в зазоре двухфазной и многофазной машин в этих условиях отличаются друг от друга [2]. Так как асинхронный двигатель при обрыве одной из фаз питающей сети является несимметричным – в качестве математической модели может быть принята обобщенная электрическая машина в трехфазной системе координат.

При составлении уравнений и рассмотрении переходных процессов асинхронных машин использованы общепринятые допущения, связанные с понятием «идеализированная» машина [2]. На основе уравнений для АД в заторможенной системе координат фазных величинах [2], запишем выражения для линейных:

$$\begin{aligned}
 U_A - U_B &= R_s i_A - R_s i_B + \frac{d\Psi_A}{dt} - \frac{d\Psi_B}{dt}; \\
 U_B - U_C &= R_s i_B - R_s i_C + \frac{d\Psi_B}{dt} - \frac{d\Psi_C}{dt}; \\
 U_C - U_A &= R_s i_C - R_s i_A + \frac{d\Psi_C}{dt} - \frac{d\Psi_A}{dt}; \\
 0 &= R_r i_a - R_r i_b + \frac{d\Psi_a}{dt} - \frac{d\Psi_b}{dt} + \frac{(\Psi_b + \Psi_a - 2\Psi_c)\omega p}{\sqrt{3}}; \\
 0 &= R_r i_b - R_r i_c + \frac{d\Psi_b}{dt} - \frac{d\Psi_c}{dt} + \frac{(\Psi_c + \Psi_b - 2\Psi_a)\omega p}{\sqrt{3}}; \\
 0 &= R_r i_c - R_r i_a + \frac{d\Psi_c}{dt} - \frac{d\Psi_a}{dt} + \frac{(\Psi_a + \Psi_c - 2\Psi_b)\omega p}{\sqrt{3}}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Уравнения потокосцеплений фаз статора и ротора АД будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \Psi_A - \Psi_B &= i_A \left( L_S + \frac{1}{2} L_m \right) - i_B \left( L_S + \frac{1}{2} L_m \right) + \frac{3}{2} L_m i_a - \frac{3}{2} L_m i_b; \\
 \Psi_B - \Psi_C &= i_B \left( L_S + \frac{1}{2} L_m \right) - i_C \left( L_S + \frac{1}{2} L_m \right) + \frac{3}{2} L_m i_b - \frac{3}{2} L_m i_c; \\
 \Psi_C - \Psi_A &= i_C \left( L_S + \frac{1}{2} L_m \right) - i_A \left( L_S + \frac{1}{2} L_m \right) + \frac{3}{2} L_m i_c - \frac{3}{2} L_m i_a; \\
 \Psi_a - \Psi_b &= \frac{3}{2} L_m i_A - \frac{3}{2} L_m i_B + i_a \left( L_R + \frac{1}{2} L_m \right) - i_b \left( L_R + \frac{1}{2} L_m \right); \\
 \Psi_b - \Psi_c &= \frac{3}{2} L_m i_B - \frac{3}{2} L_m i_C + i_b \left( L_R + \frac{1}{2} L_m \right) - i_c \left( L_R + \frac{1}{2} L_m \right); \\
 \Psi_c - \Psi_a &= \frac{3}{2} L_m i_C - \frac{3}{2} L_m i_A + i_c \left( L_R + \frac{1}{2} L_m \right) - i_a \left( L_R + \frac{1}{2} L_m \right).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Разрешив систему уравнений (1) относительно производных потокосцеплений и упростив ее, перейдя от фазных величин к линейным, обозначив  $U_A - U_B = U_{AB}$ ;  $U_B - U_C = U_{BC}$ ;  $U_C - U_A = U_{CA}$  запишем:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\Psi_{AB}}{dt} &= U_{AB} - R_s i_{AB}; \\
 \frac{d\Psi_{BC}}{dt} &= U_{BC} - R_s i_{BC}; \\
 \frac{d\Psi_{CA}}{dt} &= U_{CA} - R_s i_{CA}; \\
 \frac{d\Psi_{ab}}{dt} &= -R_r i_{ab} - \frac{(\Psi_{bc} - \Psi_{ca})\omega p}{\sqrt{3}}; \\
 \frac{d\Psi_{bc}}{dt} &= -R_r i_{bc} - \frac{(\Psi_{ca} - \Psi_{ab})\omega p}{\sqrt{3}}; \\
 \frac{d\Psi_{ca}}{dt} &= -R_r i_{ca} - \frac{(\Psi_{ab} - \Psi_{bc})\omega p}{\sqrt{3}}.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Подставляя полученные выражения для потокосцеплений (2) в (3) и используя принятые обозначения для линейных величин, запишем систему уравнений в матричном виде

$$\frac{d[i]}{dt} = [L_1]^{-1} \left\{ [U] - \left( [R] + [L_2] \frac{\omega p}{\sqrt{3}} \right) [i] \right\}, \quad (4)$$

где  $[i]$  – матрица неизвестных (линейные токи статора и ротора);

$[U]$  – матрица линейных напряжений;

$[R]$  – матрица сопротивлений;

$[L_1], [L_2]$  – матрицы индуктивностей;

$[L_1]^{-1}$  – обратная матрица индуктивностей статора

$$[i] = \begin{bmatrix} i_{AB} \\ i_{BC} \\ i_{CA} \\ i_{ab} \\ i_{bc} \\ i_{ca} \end{bmatrix}; [U] = \begin{bmatrix} U_{AB} \\ U_{BC} \\ U_{CA} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [R] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_r \end{bmatrix};$$

$$[L_1] = \begin{bmatrix} L_s + \frac{1}{2}L_m & 0 & 0 & \frac{3}{2}L_m & 0 & 0 \\ 0 & L_s + \frac{1}{2}L_m & 0 & 0 & \frac{3}{2}L_m & 0 \\ 0 & 0 & L_s + \frac{1}{2}L_m & 0 & 0 & \frac{3}{2}L_m \\ \frac{3}{2}L_m & 0 & 0 & L_r + \frac{1}{2}L_m & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2}L_m & 0 & 0 & L_r + \frac{1}{2}L_m & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3}{2}L_m & 0 & 0 & L_r + \frac{1}{2}L_m \end{bmatrix};$$

$$[L_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2}L_m & -\frac{3}{2}L_m & 0 & \left( L_r + \frac{1}{2}L_m \right) & -\left( L_r + \frac{1}{2}L_m \right) \\ -\frac{3}{2}L_m & 0 & \frac{3}{2}L_m & -\left( L_r + \frac{1}{2}L_m \right) & 0 & \left( L_r + \frac{1}{2}L_m \right) \\ \frac{3}{2}L_m & -\frac{3}{2}L_m & 0 & \left( L_r + \frac{1}{2}L_m \right) & -\left( L_r + \frac{1}{2}L_m \right) & 0 \end{bmatrix}.$$

Данная запись справедлива для трехфазного симметричного случая, когда соблюдается равенство  $R_{sA} = R_{sB} = R_{sC} = R_s$ . В случае обрыва фазы статора сопротивление отказавшей фазы будет равно бесконечности, и равенство сопротивлений не будет соблюдаться. Для решения уравнений в аварийном режиме заменим выражения для линейных величин в правой части на фазные. Тогда, обозначив матрицы линейных и фазных токов, как:

$$[i_{\pi}]^T = [i_{AB} \ i_{BC} \ i_{CA} \ i_{ab} \ i_{bc} \ i_{ca}]; [i_{\phi}]^T = [i_A \ i_B \ i_C \ i_a \ i_b \ i_c],$$

соответственно, запишем выражение (4) в следующем виде

$$\frac{d[i_{\pi}]}{dt} = [L_1]^{-1} \left\{ [U] - \left( [R] + [L_2] \frac{\omega p}{\sqrt{3}} \right) [i_{\phi}] \right\}$$

где

$$[R] = \begin{bmatrix} R_s & -R_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & -R_s & 0 & 0 & 0 \\ -R_s & 0 & R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_r & -R_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_r & -R_r \\ 0 & 0 & 0 & -R_r & 0 & R_r \end{bmatrix};$$

$$[L_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3}{2}L_m & \frac{3}{2}L_m & -3L_m & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & -2\left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) \\ -3L_m & \frac{3}{2}L_m & \frac{3}{2}L_m & -2\left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) \\ \frac{3}{2}L_m & -3L_m & \frac{3}{2}L_m & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & -2\left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) & \left(L_R + \frac{1}{2}L_m\right) \end{bmatrix}.$$

Электромагнитный момент  $M$  определяется по следующему выражению

$$M = p \frac{\sqrt{3}}{2} L_m [(i_A i_c + i_B i_a + i_C i_b) - (i_A i_b + i_B i_c + i_C i_a)].$$

Уравнение движения электропривода

$$M - M_c = \frac{J_s}{p} \frac{d\omega}{dt}.$$

**Вывод.** Разработана математическая модель асинхронного двигателя в линейных величинах для исследования неполнофазного аварийного режима работы для двигателей, выполненных по схеме со связанными фазами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Микроэлектронные электросистемы. Применение в радиоэлектронике / Ю.И. Конев [и др.]; под ред. Ю.И. Конева. -М.: Радио и связь, 1987. -240 с.: ил.
- 2 Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 2001. -327 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** математическая модель асинхронного двигателя, неполнофазный режим работы, обрыв фазы  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Однокопылов Георгий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
 Брагин Александр Дмитриевич, студент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

## СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ЗДАНИЙ

ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт  
 электрификации сельского хозяйства РА сельскохозяйственных  
 наук

**О.В. Шеповалова, В.Г. Чирков, Г.В. Сибирина**

**SYSTEM INTEGRATION OF ENERGY SUPPLY IN RURAL BUILDINGS**  
 All-Russian scientific-research institute for electrification of agriculture  
 O.V. Shepvalova, V.G. Chirkov, G.V. Sibirina

The article considers the relevance and the basic functions of the system integration of energy supply in rural buildings, farms. Presented created experimental sample of the module of system integration, providing energy saving and increasing energy efficiency by 30-50%.

*Keywords: energy saving, energy efficiency, system integration*

Рассмотрены актуальность и основные функции системной интеграции энергообеспечения сельских зданий, крестьянских (фермерских) хозяйств. Представлен созданный экспериментальный образец модуля системной интеграции, обеспечивающий энергосбережение и повышение энергоэффективности на 30-50%.

Для создания высокоэффективных систем энергообеспечения необходимо объединение управления отдельными подсистемами в единую интеграционную систему, взаимосвязано управляющую энергоснабжением, обеспечением жизнедеятельности, специфическими вопросами технологических процессов крестьянских (фермерских) хозяйств, сельских зданий. Интеграция дает возможность использовать преимущество согласованного взаимодействия программно-технических средств, автоматизирующих различные процессы и подсистемы [1, 2].

Системная интеграция реализуется через подсистему управления включающую центральное устройство приема, преобразования, обработки информации, энергии, визуализации и передачи управляющих команд; периферийные устройства; сети и (или) протоколы передачи данных.

Функции подсистемы управления включают:

- функции входов/выходов;
- функции обработки;
- функции диспетчеризации и администрирования.

Функции входов/выходов реализуются посредством интерфейса между периферийными устройствами и функциями обработки. При этом число функций входов/выходов необходимо для определения требуемых физических и/или общих (коммуникационных) входов/выходов центрального устройства, производительности процессора и размера памяти.

Периферийные устройства обеспечивают сбор информации о состоянии и исполнение управляющих воздействий. Такими устройствами могут быть аналоговые и дискретные датчики, исполнительные устройства, устройства местного ручного управления, подключаемые через интерфейсы входов/выходов к контроллерным устройствам. Данные устройства подключаются к контроллерам непосредственно через кабельные соединения либо через периферийную шину.

Функции обработки реализуются с помощью проектного пакета прикладных программ, разработанных для конкретного объекта энергоснабжения, и обеспечивают автоматизированное управление инженерными системами здания с помощью контроллеров. Функции обработки включают:

- контроль;
- управление;
- регулирование;
- расчет/оптимизацию;
- автоматизацию подсистем, процессов, помещений (например, для управления отдельными климатическими доводчиками, освещением).

Функции диспетчеризации и администрирования реализуются посредством взаимодействия и технических средств автоматизации – человеко-системного интерфейса. Человеко-системный интерфейс реализует следующие основные функции:

- регистрация и обработка значений параметров, тревог и событий;
- отображение/вывод информации о состоянии процесса, подсистемы;
- задание/изменение параметров, установок, значений;
- системное администрирование, включая отдельные функции конфигурирования/программирования и пуско-наладки.

Отображение статистической информации включает:

- выбор информации и периодов времени для выбора точек данных;
- выбор информации по определенным проектным группам;
- дополнительные особенности анализа текущих и/или исторических данных (например, фильтры);
- возможность настройки сообщения.

Информация о точке данных (элемент управления) может быть представлена отдельными или всеми из следующих данных:

- дата и время последнего изменения значения/состояния;
- текстовое описание состояния;
- пользовательский адрес;
- состояние, значение и единица измерения;
- предельные значения;
- тип события;
- дополнительный текст [3].

Системное программное обеспечение выполняет функции инициализации, координации и обслуживания всего объема конфигурационных данных, относящихся к функционированию всей системы в целом, включая управление сетевыми коммуникационными процессами. Каждая функция системного программного обеспечения должна конфигурироваться как в ручном, так и в автоматическом режимах.

Изменения состояний или значений, поступающих от функций входов/выходов, функций обработки, коммуникационных функций, могут сохраняться и сопровождаться меткой даты и времени для последующего анализа и обработки. Метка времени и дата указывают время последнего изменения состояния или значения. Текст описывает состояние функции и смысл этого состояния (например, авария по верхнему пределу, текущее рабочее значение и т.п.). Данные функции относятся к функциям диспетчеризации и администрирования в части исторических данных.

Современные технические средства различных фирм, коммуникационные протоколы и базовые программные продукты позволяют обеспечить модульность, гибкость, минимизировать внутренние сети, обеспечить длительность функционирования, возможность создания типовых модулей системной интеграции и типоразмерного ряда модулей для решения всего спектра индивидуальных задач сельских потребителей. Системное и прикладное программное обеспечение и человеко-системный интерфейс, включая операционную систему типовых модулей, предполагает общее программное обеспечение, независимое от конкретного объекта энергообеспечения и проектных специфических функций и включает обязательную возможность функции корректировки и отладки в соответствии с конкретным объектом.

Одной из современных тенденций является принцип «интеллект в каждом устройстве». Это означает, что любое устройство, включенное в комплексную систему энергообеспечения (КСЭО) является «интеллектуальным» и способным к «общению». Каждое устройство, приборы и технические средства подсистем и процессов содержат внутри себя микропроцессор и специальный сетевой интерфейс. Стандартный сетевой интерфейс чипа обеспечивает ему связь со всеми другими устройствами, элементами КСЭО. Для сельских зданий, крестьянских (фермерских) хозяйств наиболее целесообразно использование WEB-интерфейсов, обеспечивающих высокую гибкость управления. Данный тип интерфейса формируется специальным сервером, который размещен в здании, на форме или на этаже, в рабочем помещении, подсистеме.

Для систем энергообеспечения, являющихся сложными иерархическими системами, протокол обмена данными должен поддерживать обмен по принципу «каждый с каждым» посредством витой пары, электрических сетей, радиоканала, и (или) инфракрасного канала и через сети IP. Протокол должен быть событийно ориентированный – устройства передают информационный пакет только в том случае, когда их состояние изменилось. Каждое устройство может передавать информацию каждому и принимать ее от каждого, при этом передаваемый пакет может проходить через несколько различных сред передачи. Для защиты информации, передаваемый через открытые среды (радио или интернет), должны быть специальные средства в виде аутентификации сообщения.

Подобная интеграция осуществляется в системах, получивших название «умный дом». Задачи систем: энергосбережение, повышение управляемости и уровня комфорта, во многом совпадают с задачами системной интеграции энергообеспечения. Как правило, под понятием «умный дом» подразумевается более узкое функциональное назначение. Однако сегодняшний уровень развития систем «умный дом» позволяет говорить о том, что в общем случае они могут соответствовать понятию интеграционной системы управления. Комплекующие для «умного дома» могут быть эффективно использованы для создания современных энергосберегающих систем энергообеспечения. Они отражают наиболее современные тенденции в элементной базе, программных и сетевых продуктах, рассчитаны на широкий круг потребителей и адаптированы к возможностям конечного пользователя.

В ГНУ ВИЭСХ создан экспериментальный образец модуля, предназначенный для системной интеграции и автоматизации управления энергообеспечением сельских зданий.

Модуль состоит из трех блоков. Первый, диалоговый блок включает в себя монитор и клавиатуру ввода параметров, команд управления, работы с программами. Этот блок выполнен с возможностью расширения функций, введения программ отображения контроля и управления 18 процессами. Блок отображает на мониторе схему состояния контролируемого процесса, позволяет отслеживать его протекание, вводить параметры, программировать состояние исполнительных механизмов и текущие параметры процесса в автоматическом и

ручном режиме. Демонстрационная программа отражает на мониторе протекание процессов водяного отопления помещений и действие исполнительных механизмов при радиаторном и напольном отоплении, использовании солнечных коллекторов и модифицированного автономного котла De Dietrich на биотопливе.

Второй блок включает устройства оптической и звуковой сигнализации аварии в подсистеме источники по шести основным состояниям, общее автоматическое отключение, включение и выключение (переключение) основной и резервной подачи энергии, тумблеры управления по интеграционным связям. Третий блок состоит из аккумуляторов постоянного тока для автономных источников, инвертора постоянного тока, панели внешних разъемов. Модуль имеет интерфейсы и коммутаторы для источников электропитания и внутренних сетей.

Блоки смонтированы в стойке, которая выполнена подвижной и может перемещаться в место, удобное для эксплуатации. Каждый из блоков легко извлекается из стойки, его можно модернизировать и вернуть в стойку. Предусмотрена возможность установки дополнительных сетевых устройств с целью подключения к различным типам соединительных и передающих сетей. Организация блоков позволяет легко наращивать функции системы.

Модуль оснащается специальным аппаратно-программным обеспечением, позволяющим полностью контролировать все подключаемые подсистемы. Модуль решает задачи удаленного централизованного управления оборудованием. Для взаимодействия всех элементов в качестве единого стандарта общения – протокола обмена данными, выбран протокол KNX/EIB. Основные принципы его построения – «каждый с каждым», децентрализация, событийное исполнение. KNX/EIB обладает высокой помехоустойчивостью и надежностью. Модуль рассчитан на 52 программируемых линий дискретного ввода/вывода – контролируемых энергопотоков и процессов по пяти основным подсистемам. Все серверы оснащены двумя входами электропитания, которые можно подключать одновременно к разным источникам постоянного тока. Время восстановления при обрыве составляет не более 100 мс.

Технические характеристики модуля:

- Число блоков..... 3;
- Число подключаемых источников (включая централизованные сети), не более .. 6;
- Число программируемых линий дискретного ввода/вывода, не более ..... 52;
- Число подключаемых основных подсистем, не более ..... 5;
- Напряжение/частота переменного тока, В/Гц ..... 220/50;
- Напряжение постоянного тока, В ..... 24;
- Мощность инвертора, кВт, не более ..... 10;
- Емкость аккумуляторов, А·ч, не более ..... 600;
- Температура теплоносителя на входе, °С, не более ..... 95;
- Габаритные размеры, мм..... 560x560x1230;
- Масса, кг, не более ..... 200.

Системная интеграция обеспечивает увеличение управляемости энергообеспечением, повышение эффективности использования энергетических ресурсов, гарантированную устойчивость функционирования процессов жизнеобеспечения требуемого качества. Внедрение системной интеграции позволит повысить качество энергоснабжения, снизить затраты энергоресурсов на 30-50%. Созданный экспериментальный образец модуля по принципу «умный дом» может служить прототипом типового модуля системной интеграции энергообеспечения сельских зданий, крестьянских (фермерских) хозяйств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шеповалова, О.В. Организация и построение систем энергообеспечения сельских зданий / О.В. Шеповалова // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 7 Междунар. науч.-техн. конф. 18-19 мая 2010 г., Москва / ГНУ ВИЭСХ. -М., 2010. -Ч.1. -С. 344-349.
- 2 Шеповалова, О.В. Вопросы энергообеспечения сельских зданий, крестьянских и фермерских хозяйств / О.В. Шеповалова, М.Д. Гришин // Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 6 Междунар. науч.-практ. конф. 13-14 мая 2009 г., Санкт-Петербург / ГНУ СЗНИИМЭСХ. -СПб., 2009. -Т.3. -С. 235-239.
- 3 СТО НП «АВОК» 8.1.3-2007. Автоматизированные системы управления зданиями. Ч.3. Функции.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *энергосбережение, энергоэффективность, системная интеграция*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Шеповалова Ольга Вячеславовна, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии*  
*Чирков Владимир Григорьевич, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии*  
*Сибурина Галина Валентиновна, инженер ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *109456, г.Москва, ул.1-ый Вешняковский проезд, 2, ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ДИЗЕЛЬНОГО РЕЗЕРВА**

ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства РАН сельскохозяйственных наук

**В.А. Гусаров, В.В. Цимбалюк**

### **INCREASE OF EFFICIENCY OF SYSTEMS OF AN INDEPENDENT ELECTRICAL SUPPLY AT USE OF RENEWED ENERGY SOURCES AND A DIESEL RESERVE**

All-Russian scientific-research institute for electrification of agriculture  
V.A. Gusarov, V.V. Cimbaliuk

The Russian scientific research Institute of agriculture was established an independent working in automatic mode set of equipment consisting of wind-electric unit, solar batteries and a diesel generator, which guarantees the generation of power energy of 3-4 kW-h per day, for the power supply of rural houses, in the climatic conditions of the European part of Russia.

*Keywords: wind power unit, solar battery, diesel generator*

Всероссийским научно-исследовательским институтом сельского хозяйства создан работающий автономно в автоматическом режиме комплект оборудования, состоящий из ветроэлектрического агрегата, солнечной батареи и дизельного генератора, который гарантированно обеспечивает выработку электроэнергии 3-4 кВт·ч в сутки, для электроснабжения сельского дома, в климатических условиях Европейской части России.

Для сельских потребителей, не имеющих централизованного электроснабжения, разработан комплект оборудования, состоящий из фотопреобразователей, ветроагрегата и резервной дизельной электростанции. Особенностью этого комплекта является высокоэффективный блок бесперебойного питания (ББП), достоинством которого является сравнительно низкое собственное энергопотребление и возможность генерировать запасенную в аккумуляторную батарею электроэнергию в локальную или централизованную сеть

Преобразователи постоянного напряжения в переменное 220 В, производятся двух типов: с преобразованием на промышленной частоте и с преобразованием ШИМ.

Из анализа технических характеристик инверторов российского и импортного производства и графика нагрузки следует, что при существующей суточной нагрузке собственное суточное энергопотребление при минимальной нагрузке составит 1090-2500 Вт·ч в сутки, что сравнимо с суточной потребностью в электроэнергии сельского дома. Отсюда следует, что имеющиеся на российском рынке инверторы и блоки бесперебойного питания пока малопригодны для автономного электроснабжения.

Разработанный блок бесперебойного питания состоит из инвертора, блока реле, переключающего выходное напряжение от дизельного генератора или инвертора (в зависимости от того, что работает), стабилизатора напряжения, обратногоходового зарядного устройства.

Инвертор выполнен таким образом, что может выполнять три функции: формировать сигнал переменного синусоидального напряжения для работы на нагрузку или для генерации этого напряжения в сеть, производить зарядку АБ от сети или от ДГ.

ББП контролирует величину напряжения на клеммах АБ и, в зависимости от напряжения на клеммах и подсоединенной нагрузки, через блок автоматического запуска и остановки дизельного генератора дает команду на его запуск или выключение и прекращение заряда.

Инвертор преобразует постоянный ток АБ в переменный напряжением 220 В частотой 50 Гц для питания нагрузки. Большая мощность инвертора (5 кВт) и высокое качество синусоиды позволяет обеспечить электроэнергией практически любой потребитель в доме, включая асинхронные электродвигатели.

Команда на автоматическое включение дизельного двигателя поступает при снижении напряжения АБ до уровня 44 В, а команда на отключение режима заряда с отключением дизельного двигателя производится при повышении напряжения на АБ до уровня 58 В и последующего 1 ч времени. Ветроагрегат и фотоэлектрическая установка, через свои зарядные устройства, всегда имеют разрешение на заряд АБ и осуществляют его до верхнего предельного уровня 56 В.

БПП содержит пять функциональных частей (рисунок 1): входной-выходной фильтр (Ф1), повышающий Ш-образный трансформатор (Тр), плата управления на основе микроконтроллера ATMEGA8535 с преобразователем постоянного напряжения (однофазный полномостовой инвертор – ИНВ), блок реле (БР) и выходной фильтр (Ф2).

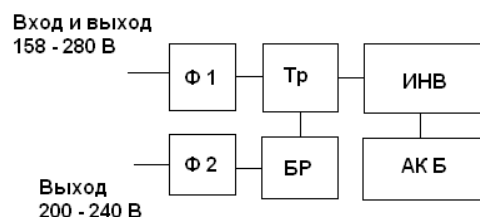


Рисунок 1 – Блок-схема блока бесперебойного питания

БПП автоматически обеспечивает три возможных режима питания нагрузки: основной, автономный и генерирующий, выбираемые посредством блока реле (БР) и платой управления.

В основном режиме, когда дизельный генератор или централизованная сеть имеет напряжение 158-280 В, питание нагрузки происходит от внешних источников. Если выходное напряжение выходит за пределы 200-240 В, микроконтроллер ATMEGA8535 дает команду блоку реле (БР) на включения соответствующих реле, коммутирующих обмотки трансформатора. На трансформаторе (ТР) кроме основных обмоток 220 В и 28 В, имеются две дополнительные обмотки, обеспечивающие вольт-добавку 30 В каждая. В зависимости от уровня входного напряжения, подключаются одна или две обмотки на высоковольтной стороне, таким образом, чтобы выходное напряжение находилось в пределах 200-240 В. Источник питания основной платы преобразует напряжение АБ 48 В в напряжение 12 В, для питания основных микроконтроллеров, и напряжение 24 В, для питания вентиляторов системы охлаждения БПП [1].

Одновременно входное напряжение через силовой трансформатор подаётся на однофазный полнопериодный мост, образуемый ключами инвертора. Избранный алгоритм управления силовыми ключами позволяет реализовать управляемый заряд АБ. В отсутствии входного напряжения или недопустимых отклонениях его параметров, блок реле коммутирует обмотки трансформатора таким образом, что БПП переходит в автономный режим питания от АБ (автономный режим).

Блок бесперебойного питания разработан с использованием быстродействующих силовых ключей и микропроцессорного управления. На выходе Ф1 (см. рисунок 1) установлены конденсаторы, фильтрующие помехи. Преобразователь постоянного напряжения (ППН) выполнен на базе мостового инвертора со сглаживающим фильтром. На выходе ППН установлены конденсаторы, которые обеспечивают подавление высокочастотных (28,5 кГц) пульсаций тока. В зависимости от выбранного режима (зарядка аккумулятора, инвертор, генерация в сеть) используется три разные алгоритм управления силовыми ключами. Гальваническая развязка в БПП обеспечивается Ш-образным трансформатором, соединёнными последовательно с блоком реле и инвертором.

Инвертор формирует на выходе гармоническое напряжение, обеспечивая стабилизацию его действующего значения на уровне 220 В (точность порядка 1%) и ограничение мгновенного значения выходного тока (максимум 30 А), используя обратную связь. Особенность избранного алгоритма управления силовыми ключами состоит в том, что на каждом из двух полупериодов, с частотой модуляции коммутируется лишь одно плечо инвертора. При этом в другом плече один из транзисторов постоянно открыт, а второй – закрыт.

Такой алгоритм обеспечивает существенное снижение суммарных тепловых потерь, равномерное распределение их между транзисторами

Зарядное устройство представляет собой активный синхронный выпрямитель, образуемый силовым трансформатором и силовыми транзисторами мостового инвертора, реализующего 2 из 3-х характерных режимов эксплуатации АБ – зарядку с ограничением тока на уровне 10 А и подзаряд со стабилизацией напряжения на уровне 55,6 В.

Коэффициент трансформации силового трансформатора выбран таким, что при простом выпрямлении напряжения на низковольтной стороне, его амплитуда всегда ниже необходимого значения для зарядки аккумулятора. Для повышения и регулирования напряжения алгоритм управления силовыми транзисторами выбран так, что схема работает как повышающий бустерный преобразователь. При этом в качестве дросселя для накопления энергии используется силовой трансформатор.

На рисунке 2 показаны осциллограммы напряжения и тока на входе БПП, соответствующие установившемуся режиму при номинальной нагрузке. Ток изменяется во времени практически по гармоническому закону синхронно с напряжением.

Искажения частотных спектров весьма незначительны, коэффициенты гармоник вход-



ных напряжения и тока равны соответственно 0,5% и 1,2%. В установившихся режимах были исследованы напряжение и ток на выходе БП, как при линейной, так и при нелинейной нагрузке. Выходной ток имел существенно искажённую форму при длительности импульса порядка 3 мс. В пределах полупериода основной гармоники его максимальное значение достигало 1,2 А.

Тем не менее, искажения выходного напряжения оказались весьма незначительными (коэффициент гармоник около 1,0%).

Кроме того, были исследованы динамические свойства БП в переходных процессах, связанных с коммутацией различного вида нагрузок.

Подключение линейной нагрузки сопровождается переходным процессом, в которых можно выделить две фазы – быструю и медленную. Быстрая фаза характеризуется электромагнитными процессами в силовых цепях инвертора (главным образом, в элементах выходного фильтра) и проявляется импульсным искажением формы выходного напряжения (уменьшением мгновенного значения примерно на 10-20 В) при восстановлении в течение 10 мс.

Медленная фаза обусловлена инерционностью системы управления (преимущественно, в блоке ИНВ) и связана со стабилизацией действующего значения напряжения (10% отклонение отрабатывается в течение 20 мс).

Иначе протекают электромагнитные процессы в БП при отключении нагрузки. Под нагрузкой амплитуда выходного напряжения составляет примерно 220 В, а при отключении нагрузки амплитуда в течение 10 мс возрастает до 240 В, увеличиваясь почти на 10%. Восстановление номинального значения происходит через 20 мс [2].

Электромагнитная совместимость с питающей сетью и потребителями обеспечивается в БП установленными на входе и на выходе помехоподавляющими фильтрами. Проведены измерения ёмкостных помех, создаваемых на выходе БП. Сравнение полученных результатов с требованиями ГОСТ Р 51317.3.2-2006 разд. 6, ГОСТ Р 51317.3.3-99 показывает, что во всём диапазоне частот (от 0,15 до 30 МГц) помехи имеют вполне приемлемый уровень.

При разработке схемы БП, входящего в состав комплекса электроснабжения сельского дома, была использована трехступенчатая система энергосбережения.

1 ступень – режим «экономии». Этот режим используется при периодических нагрузках таких, как холодильник (при условии, что другая нагрузка не используется) если холодильный агрегат холодильника отключается, то БП переходит в режим экономии, напряжение на выходе 56 В, 50 Гц. Если холодильный агрегат включен, БП входит в рабочий режим и обеспечивает его электроснабжение напряжением 220 В, 50 Гц; Напряжение 56 В было установлено в процессе исследования наиболее надежных и экономичных режимов работы БП.

Собственное потребление БП в режиме «экономии» составляет 8 Вт.

2 ступень – режим пониженной мощности. Силовой повышающий трансформатор состоит из 2-х параллельно включенных трансформаторов: основного и дополнительного.

Если нагрузка составляет менее 50% мощности БП, то к системе энергообеспечения подключается один основной трансформатор мощностью 2,5 кВт. Если нагрузка составляет 50% и более, то через твердотельное реле подключается второй дополнительный трансформатор. Программа процессора обеспечивает защиту от быстрого включения-выключения дополнительного трансформатора при граничных уровнях нагрузки 2,5 кВт, для этого установлен временной интервал, то есть дополнительный силовой трансформатор подключается при нагрузке 2,5 кВт и выше, а отключается через 30 с после понижении нагрузки.

3 ступень – режим полной мощности. При нагрузке, превышающей 50% от мощности БП и длительности более 8 минут. К системе энергообеспечения подключены оба силовых трансформатора. Если мощность нагрузки не меняется в меньшую сторону и длительность

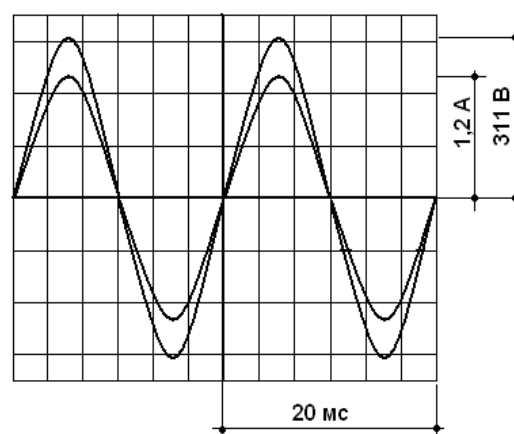


Рисунок 2 – Осциллограмма напряжения и тока установившегося режима

превышает 8 минут, например работа фекального насоса мощностью 4500 Вт, то автоматически запускается дизельный генератор и нагрузка переключается на него, а ББП переходит в режим заряда АБ. Это объясняется тем, что при исследовании экономически выгодных режимов работы комплекса был экспериментально установлен наиболее выгодный режим электроснабжения потребителей (при условии отсутствия поступления электроэнергии от ВЭС и СЭС) исключающий преобразование энергии при нагрузках более 80% мощности ББП, то есть обеспечивающие питание нагрузки напрямую от дизельного генератора.

В этом случае исключаются следующие циклы преобразования:

– заряд АБ от дизельного генератора через зарядное устройство – КПД ЗУ ДГ составляет ~90%;

– накопление и сохранение энергии – КПД АБ составляет ~82%;

– преобразование энергии постоянного тока в переменный – КПД ББП составляет ~92%.

Общей КПД преобразования из переменного напряжения 220 В в переменное напряжение 220 В составляет 0,68.

Суточное собственное потребление ББП «ВИЭСХ» составляет при работающей 2 ступени – 1235 Вт·ч в сутки, 3 ступени – 2280 Вт·ч в сутки. Что повышает эффективность применения относительно выпускаемых ББП, в среднем на 24,5%.

Следовательно, электроснабжение потребителей БПП ВИЭСХ будет осуществляться почти постоянно, при работе ББП на 1-й и 2-й ступенях. Работа на 3-ей ступени будет только при случайных и редко включающихся нагрузках для питания особо важных потребителей в ответственные моменты.

**Выводы:**

1 Применение разработанного блока бесперебойного питания повышает эффективность системы автономного электроснабжения, без дополнительных материальных затрат, в среднем на 24,5%.

2 Наличие функции генерации электроэнергии в сеть в перспективе расширяет возможность применения разработанного блока бесперебойного питания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Казаков, В. Силовая электроника. Источники питания. Многофазные трансформаторы – преобразователи. Многофазные выпрямители / В. Казаков // Силовая электроника. -2006. -№4. -С. 50-52.

2 Климов, В. Энергетические показатели источников бесперебойного питания переменного тока / В. Климов, С. Климова // Электрон. компоненты. -2004. -№4. -С. 21-25.

3 Силовые трансформаторы Минского электротехнического завода им. В.И. Козлова: кат. продукции. -Минск, 2005.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ветроэлектрический агрегат, солнечная батарея, дизельный генератор

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Гусаров Валентин Александрович, заместитель заведующего лабораторией ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии

Цимбалюк Вадим Валерьянович, инженер ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 109456, г.Москва, ул.1-ый Вешняковский проезд, 2, ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии

## ПОСТРОЕНИЕ РЕЖИМНЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО СИСТЕМЕ ИСХОДНЫХ УРАВНЕНИЙ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет»

**Ю.В. Хрущев, И.С. Токарев, А.А. Кладко**

### THE CREATION OF THE REGIME FREQUENCY CHARACTERISTICS OF POWER SUPPLY SYSTEMS BY THE BASIC EQUATIONS SYSTEM

National research Tomsk polytechnic university

Yu.V. Khrushchev, I.S. Tokarev, A.A. Kladko

This work considers different ways applying Nyquist criterion for solving analysis problems and developing devices automatic regulation of power supply systems.

*Keywords: power supply system, static stability, transfer function, frequency characteristic, Nyquist criterion*

Рассматриваются возможности применения критерия Найквиста для решения задач анализа и синтеза устройств автоматического регулирования электроэнергетических систем.

Особенностями исследования устойчивости «в малом» электроэнергетических систем (ЭЭС) являются повышенные сложность и трудоемкость процессов моделирования вслед-

ствии использования большого количества подробных математических моделей элементов. Трудоемкость усугубляется необходимостью линеаризации исходных дифференциальных и алгебраических уравнений, требуемой по условиям привлекаемых к исследованию критериев и методов анализа устойчивости. Из них, применительно к ЭЭС, наиболее распространены прямой метод, включающий непосредственный анализ корней характеристического уравнения, метод D-разбиения и некоторые модификации частотных методов, основанные на построении режимных частотных характеристик элементов и частей ЭЭС. При этом построение режимных частотных характеристик осуществляется, как правило, по системам линеаризованных уравнений и значительно реже для этой цели используются исходные (нелинеаризованные) уравнения [1-3]. В этих случаях для построения режимных частотных характеристик производятся наложение на исследуемый режим ЭЭС некоторых дополнительных (входных) гармонических сигналов и регистрация в требуемых точках выходных сигналов (откликов). Поскольку взаимосвязь между сигналами входа и выхода при таком подходе является нелинейной, требуется решение вопроса о погрешностях построения режимных частотных характеристик.

Повышенный интерес к построению режимных частотных характеристик по исходным уравнениям обусловлен тем, что в последнее время в практике моделирования появились новые моделирующие системы высокой точности, которые по уровню математического представления элементов полностью соответствуют задачам исследования устойчивости «в малом» ЭЭС, но при этом не включают процедуру линеаризации уравнений. Рациональное направление к использованию этих систем для эффективного решения задач устойчивости «в малом» представляется в виде разработки серии методик экспериментального снятия и применения режимных частотных характеристик ЭЭС. В частности, в этом направлении могут быть построены эффективные методики анализа на основе критерия Найквиста, широко используемого в приложениях теории автоматического управления процессами технических систем.

В задачах исследования статической устойчивости ЭЭС критерий Найквиста не получил развития, несмотря на целый ряд преимуществ, таких как:

- возможность определения устойчивого состояния ЭЭС экспериментальным образом;
- возможность указания типа корректировки, необходимой для приведения неустойчивой системы в устойчивое состояние;
- простота оценки запаса устойчивости исследуемой системы регулирования;
- многостороннее развитие метода в рамках теории автоматического управления (ТАУ).

Достоинства критерия определяют целесообразность его применения в задачах исследования колебательной устойчивости ЭЭС. Исследования, проведенные ранее [4], показали возможности применения критерия Найквиста для исследования устойчивости «в малом» ЭЭС на основе линеаризованных уравнений. Эти результаты позволяют предположить, что критерий Найквиста может быть использован для исследования устойчивости ЭЭС по исходным уравнениям, в том числе по уравнениям, реализованным в современных моделирующих комплексах. Для реализации этой перспективы необходимо оценить погрешности построения режимных частотных характеристик по исходным уравнениям и разработать технологию их построения.

Для оценки отмеченных погрешностей выбрана простейшая модель ЭЭС (рисунок 1), включающая синхронный генератор, оборудованный автоматическим регулятором возбуждения сильного действия (АРВ СД). Структурная схема АРВ СД изображена на рисунке 2 [5].

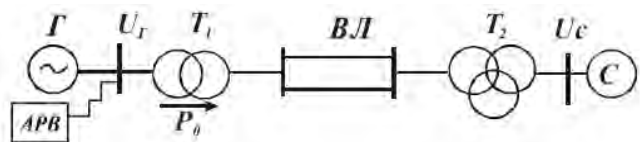


Рисунок 1 – Схема одномашиной модели энергосистемы

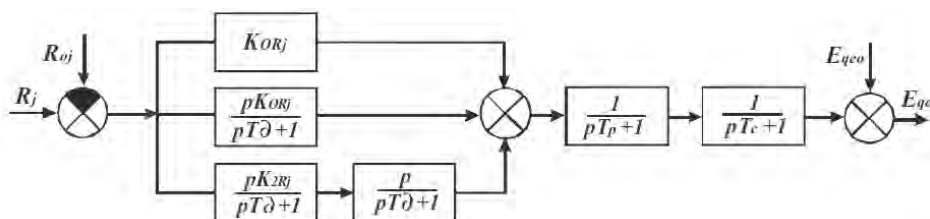


Рисунок 2 – Структурная схема системы возбуждения

Исходная система дифференциальных уравнений после вычисления всех констант, определяющих режимное состояние рассматриваемой ЭЭС, представляется в следующей форме:

$$\begin{cases} p\delta = V; \\ pV = 4,335 - 2,36(E + 1,92)\sin\delta; \\ pE = x_e; \\ pU = \frac{(E + 1,92)(3,91V\sin\delta - 1,47x_e) - 3,91x_e\cos\delta}{\sqrt{2,16(E + 1,92)^2 + 15,29 + 11,49(E + 1,92)\cos\delta}}; \\ px_e = 1,37K_{1U} \frac{(E + 1,92)(3,91V\sin\delta - 1,47x_e) - 3,91x_e\cos\delta}{\sqrt{2,16(E + 1,92)^2 + 15,29 + 11,49(E + 1,92)\cos\delta}} + \\ + 5\{K_{of}V + K_{ou}U + K_{if}[8,37 - 6,29(E + 1,92)\sin\delta] - 2,1x_e - E\}, \end{cases} \quad (1)$$

$$U = 1 - 0,19\sqrt{2,16(E + 1,92)^2 + 15,29 + 11,49(E + 1,92)\cos\delta}; \quad U = U_{r0} - U_r; \quad x_e = \frac{dE}{dt} = pE; \quad E = E_q - E_{qe0}.$$

где  $K_{1U}$  – коэффициент усиления АРВ по первой производной напряжения, ед. возб. хх·с/ед. напряж.;

$K_{ou}$  – коэффициент усиления АРВ по отклонению напряжения, ед. возб. хх/ед. напряж.;

$K_{of}$  – коэффициент усиления канала системной стабилизации по частоте напряжения, ед. возб. хх\*с/ед. частоты;

$K_{if}$  – коэффициент усиления канала системной стабилизации по производной частоты напряжения, ед. возб. хх\*с/ед. частоты;

$U_r$  – напряжение генератора, отн. ед.;

$U_{r0}$  – начальное напряжение генератора, отн. ед.;

$E_q$  – синхронная ЭДС, отн. ед.;

$E_{qe0}$  – заданное (установочное) значение вынужденной составляющей синхронной ЭДС, отн. ед.;

$\delta$  – угол вылета ротора генератора, рад.;

$V$  – скорость изменения угла вылета ротора генератора, рад./рад.

В качестве входного сигнала используется малое гармоническое возмущение мощности турбины с амплитудой, составляющей 3% от передаваемой мощности в исследуемом нормальном режиме, которая, в свою очередь, находится на уровне 99,9% от максимума мощности, определяемого по внутренней угловой характеристике при фиксированном, в этом режиме, значении синхронной ЭДС. В маловозмущённом режиме второе уравнение системы (1) имеет вид

$$pV = 4,335 - 2,26(E + 1,92)\sin\delta + 0,13005\sin(\omega t). \quad (2)$$

Выходным сигналом является приращение угла вылета ротора генератора. Расчёт колебательного процесса производится методом Рунге-Кутты четвёртого порядка точности с использованием пакета прикладных программ ODE. После затухания свободной составляющей переходного процесса определяются амплитуда выходного сигнала и сдвиг его по фазе относительно входного сигнала. Отношение амплитуды выходного установившегося сигнала к амплитуде входного сигнала представляет собой амплитуду вектора частотной характеристики. Сдвиг по фазе выходного сигнала является фазой вектора этой характеристики.

АФЧХ, построенная по исходным уравнениям системы (1) с учётом (2), представлена на рисунке 3а. В результате линеаризации уравнений (1) получена линейная система вида:

$$\begin{cases} p\Delta V = -2,2823\Delta E - 1,209\Delta\delta; \\ p\Delta\delta = \Delta V; \\ p\Delta U = -0,195\Delta x_e + 0,682\Delta V; \\ p\Delta E = \Delta x_e; \\ p\Delta x_e = -39,819\Delta x_e + 152,446\Delta V - 142,389\Delta E + 191,288\Delta\delta. \end{cases} \quad (3)$$

Построение АФЧХ по уравнениям системы (3) выполнено на основе промежуточной передаточной функции замкнутой системы. Для этого задано внешнее возмущение в виде приращения активной мощности  $\Delta P$  генератора в правой части первого уравнения системы и получено решение для приращения угла. Построенная по этой передаточной функции АФЧХ представлена на рисунке 3б.

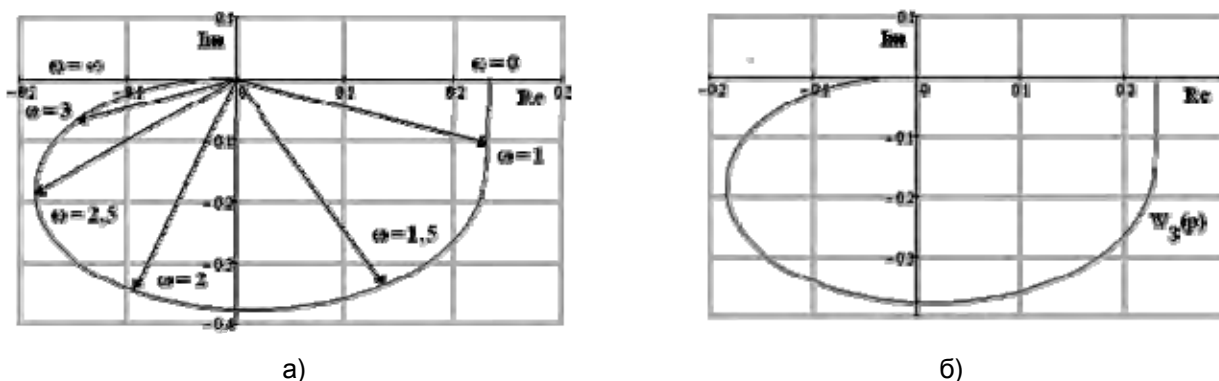


Рисунок 3 – Амплитудно-фазовые (режимные) частотные характеристики ЭЭС, построенные: а)-по исходным уравнениям (1) и (2); б)-по линеаризованным уравнениям (3)

Количественные показатели АФЧХ (см. рисунок 3) для ряда частот представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количественные показатели АФЧХ, построенных по исходным и линеаризованным уравнениям

Наименование показателя	Частота, Гц			
	0	1,0	1,5	2,0
Амплитуда сигнала линеаризованной системы, отн. ед.	0,234	0,254	0,362	0,367
Амплитуда сигнала исходной системы, отн. ед.	0,23517	0,25463	0,36560	0,36773
Модуль отклонения амплитуд исходной и линеаризованной систем, отн. ед.	0,001170	0,000663	0,003600	0,000734
Фазовый сдвиг сигнала линеаризованной системы, эл. град.	0	24,9360	50,3890	131,3880
Фазовый сдвиг сигнала исходной системы, эл. град.	0	24,69600	49,88900	132,1338
Модуль отклонения фазовых сдвигов исходной и линеаризованной систем, эл. град.	0	0,2400	0,5000	0,7458

Как следует из таблицы 1, погрешности построения режимных АФЧХ по исходным уравнениям (1) и (3) находятся в пределах одного процента по амплитуде и одного электрического градуса (эл. град.) по фазе, что позволяет сделать вывод о принципиальной их применимости при анализах колебательной устойчивости ЭЭС. Такие характеристики могут быть получены также экспериментально с использованием физических моделей или гибридных моделирующих комплексов, что позволит внедрить в практику исследования колебательной устойчивости ЭЭС эффективные частотные методы, в том числе методы, основанные на критерии Найквиста [4].

Вопросы об уровне входных сигналов, необходимости обработки выходных сигналов и построении технологии проведения экспериментов должны, очевидно, дополнительно рассматриваться применительно к конкретным задачам и средствам моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Борисов, Р.И. Исследование статической устойчивости дальних передач переменного тока по эквивалентным передаточным функциям и статическим характеристикам промежуточных систем / Р.И. Борисов, В.И. Готман, Ю.В. Хрущев // Тр. СибНИИЭ. -Новосибирск, 1972. -Вып.21. -С. 268-274.  
 2 Страхов, С.В. Частотные методы и их роль при исследовании переходных электромеханических и электромагнитных процессов в электроэнергетических системах / С.В. Страхов // Применение частотных методов в электроэнергетических исследованиях: краткие тез. II Всесоюз. совещ. / СибНИИЭ. -Новосибирск, 1976. -С. 6-8.  
 3 Методика координации настроек АРВ-СД в энергосистемах на основе экспериментальных данных / И.А. Груздев, М.М. Екимова, А.Н. Дойников, И.В. Игнатьев // Тр. ЛПИ. -Л., 1988. -№427. -С. 55-62.  
 4 Хрущев, Ю.В. Применение критерия Найквиста к исследованиям статической устойчивости электроэнергетических систем

тем / Ю.В. Хрущев, И.С. Токарев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№2. -С. 295-298.

5 Хрущев, Ю.В. Методы расчета устойчивости энергосистем: учеб. пособие / Ю.В. Хрущев; Томск. политехн. ун-т. -Томск: STT, 2005. -176 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *электроэнергетическая система, статическая устойчивость, передаточная функция, частотная характеристика, критерий Найквиста*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Хрущев Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
Токарев Иван Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
Кладько Андрей Александрович, студент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

## **АДАПТАЦИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ТОЧЕК ДОСТУПА К МЕСТУ ИХ УСТАНОВКИ**

**ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»**

**Н.В. Калитёнков, В.И. Милкин, В.А. Лебедев, А.Е. Шульженко**

### **ADAPTATION OF THE WIRELESS POINTS OF ACCESS TO THE PLACE OF THEIR INSTALLATION**

Murmansk state technical university

N.V. Kalitenkov, V.I. Milkin, V.A. Lebedev, A.E. Shulzhenko

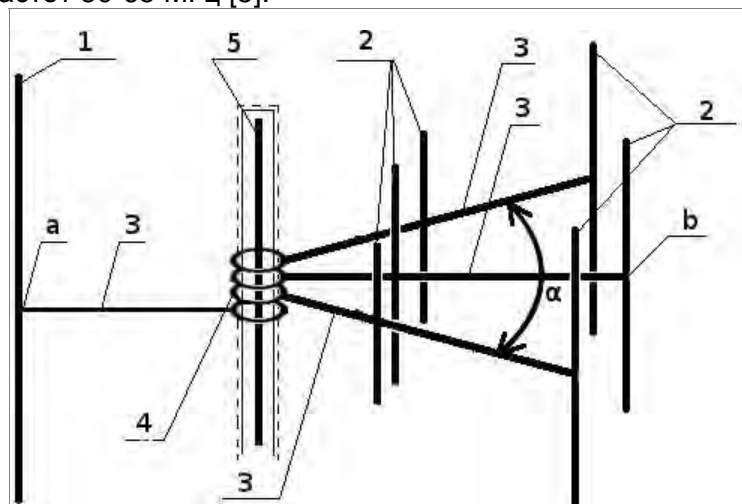
Antenna adapter-transformer, is proposed. Device can be used for the optimization of the work of the regular omnidirectional antennas and increases the effectiveness of the work of the wireless points of access.

*Keywords: antenna adapter-transformer, regular antenna, the point of access*

Предложен антенный адаптер-трансформер. Устройство может применяться для оптимизации работы штатных ненаправленных антенн и повышает эффективность работы беспроводных точек доступа.

Технологии Wi-Fi являются перспективной и неотъемлемой частью современной жизни. Беспроводные точки доступа используются всюду, где возникает необходимость высокоскоростного информационного доступа. Преимущества организации сетей с использованием радиосвязи очевидны [1]. В качестве ненаправленных антенн Wi-Fi оптимальными по электрическому согласованию и технологии изготовления, а значит и по цене, являются D-Link ANT24-0230 [2]. Эти антенны построены по схеме коаксиальных антенн [3]. Широко используются ненаправленные антенны Delta Satellite, DS 2300-5BV360 с повышенным коэффициентом усиления 5,5 дБ и выполненные по схеме коллинеарных антенн. Известна антенная система с изменяемой формой диаграммы направленности сантиметрового диапазона радиоволн, для частот 8,4-9,2 ГГц, выполненная по схеме активной возбуждающей антенны и пассивной рупорной насадки [4]. В беспроводных радиосистемах наиболее широко и длительное время используются антенны типа «волновой канал» вертикальной поляризации метрового диапазона радиоволн, для частот 50-65 МГц [5].

В настоящей работе представлен инновационный подход к использованию ненаправленных антенн беспроводных точек доступа. К типовой антенне в виде штыря, крепится ещё одно антенное устройство с диаграммообразующими элементами, обеспечивающими управление формированием диаграммы необходимой направленности в зависимости от условий размещения беспроводной точки доступа. Разработано, смоделировано и испытано несколько версий так называемых Wi-Fi антенных адаптеров, обеспечивающих повышение коэффициента усиления штатных антенн и изменение их диаграмм направленности. Wi-Fi комбинированная антенна с регулируемой формой диаграммы направленности конструктивно со-



*Рисунок 1 – Ненаправленная антенна беспроводных точек доступа*

держит автономный ненаправленный вертикальный полуволновой вибратор с устройствами симметрирования и согласования, дополненный мультидиректорной структурой. Рефлектор и не менее одного директора выполнены в виде комбинации насадок на изолирующую поверхность активного вибратора, при размещении пассивных вибраторов в насадках на траверсах. При использовании одного активного вибратора существует возможность изменять пространственное положение директоров в системе насадок и создавать не менее одной директорной антенны. Это позволяет при двух и более директорных структурах обеспечивать возможность создания изменяемых углов раскрытия между траверсами с директорами и тем самым регулировать форму диаграммы направленности. Wi-Fi комбинированная антенна с регулируемой формой диаграммы направленности работает следующим образом. Установка на штатную антенну, на активный вибратор 5, состоящий из автономного ненаправленного вертикального полуволнового вибратора и устройств симметрирования и согласования с фидером, насадок с траверсами 3 рефлектора 1 и директоров 2, при размещении их на одной оси, проходящей через центры а, в и центр узла питания штатной антенны реализуется директорная антенна типа волновой канал. Директорная структура обеспечивает направленность и повышение коэффициента усиления антенны. С учётом того, что в качестве автономных штатных антенн вертикальной поляризации используются, в основном, коаксиальные антенны с входным сопротивлением 75 Ом, то внесённое сопротивление от рефлектора и директоров обеспечивает улучшение согласования с 50 омным входом точек доступа, снижая коэффициент стоячих волн. Директорная структура может быть выполнена составной в виде проводящих поворотных колец 4, охватывающих активный вибратор 5, насаженных на изолирующую поверхность активного вибратора 5 и зафиксированных на уровне центра узла питания полуволнового вибратора 5 с креплением к кольцам 4 проводящих траверс 3 с рефлектором 1 и директорами 2, как показано на рисунке 1.

Расположение проводящих колец в горизонтальной плоскости не влияет на параметры антенны с вертикальной поляризацией.

Результаты моделирования электрических характеристик антенны и рассчитанные диаграммы направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях показаны на рисунке 2 и подтверждают эффективность разработанного устройства.

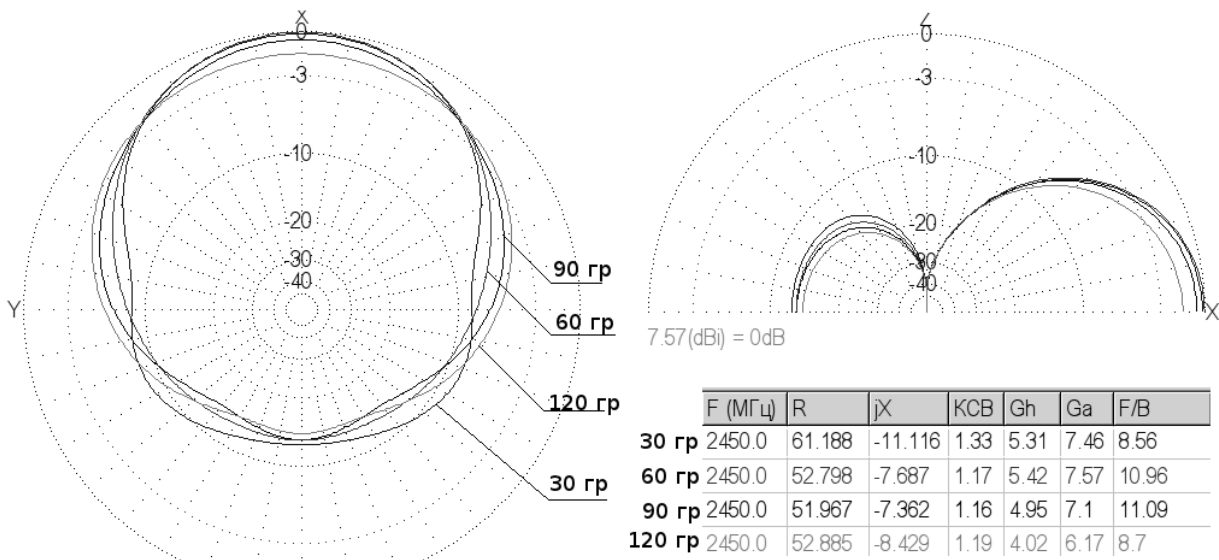


Рисунок 2 – Результаты моделирования электрических характеристик антенны

Все элементы комбинации насадок, кроме проводников пассивных вибраторов, могут быть выполнены из диэлектрика. Адаптация точки доступа к месту установки осуществляется путем изменения диаграммы направленности и изменения коэффициента усиления посредством наращивания в составе антенны директорных структур, выполненных в виде насадок. Изменения углов между насадками по горизонтали обеспечивает необходимый уровень сигнала в зоне обслуживания. Комплект насадок дополнительно поставляется или включается в состав штатной антенны. Все детали Wi-Fi комбинированной антенны с регулируемой формой диаграммы направленности имеют простую форму и сделаны из однородных и однотипных материалов. Это позволяет реализовать изготовление их в массовом

производстве легко и дешево.

Таким образом, предложено инновационное техническое решение создания перспективных антенн для использования в Wi-Fi технологиях, [6]. Предлагаемое техническое решение востребовано и промышленно повторяемо, обеспечивает возможность мягкой адаптации работы Wi-Fi сети к существующим условиям в месте её развёртывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Возьми сеть с собой // MediaMar / ООО «РА Брандшип». -2012. -№1. -С. 32.  
 2 D-Link ANT24-0230. User's Guide, D-Link Building Networks for People. -С. 5  
 3 Пат. 2184729 US. -Опубл. 1937.  
 4 Пат. 2427947 Российская Федерация, МПК H01Q 13/02. Антенная система с изменяемой формой диаграммы направленности / Крылов К.С. [и др.]. -Заявл. 10.10.08; опубл. 27.08.11, Бюл. №24.  
 5 Харченко, К.П. УКВ антенны / К.П. Харченко. -М.: Радиостарт, 2009. -176 с.: ил.  
 6 Пат. 116277 Российская Федерация, МПК H01Q 3/00. WI-FI Антенный адаптер / Милкин В.И., Калитенков Н.В., Седых П.А., Мезенцева Н.Г., Лупандин В.А. -Заявл. 10.01.12; опубл. 20.05.12.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** антенный адаптер-трансформер, штатная антенна, точка доступа  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Калитёнков Николай Васильевич, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
 Милкин Владимир Иванович, доцент ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
 Лебедев Владимир Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
 Шульженко Александр Евгеньевич, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 183010, г.Мурманск, ул.Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»

**АНТЕННЫЙ АДАПТЕР-ТРАНСФОРМЕР**

ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

**Н.В. Калитёнков, В.И. Милкин, В.А. Лебедев, А.Е. Шульженко**

**ANTENNA ADAPTER-TRANSFORMER**  
 Murmansk state technical university  
 N.V. Kalitenkov, V.I. Milkin, V.A. Lebedev, A.E. Shulzhenko

Antenna adapter-transformer can be applied for the adaptation of the regular omnidirectional antennas in the systems Wi-Fi – technologies to the work in the complex electromagnetic situation and increases the effectiveness of the use of wireless points of access.

*Keywords: the omnidirectional antenna, antenna adapter-transformer, the wireless points of access*

Предлагаемый антенный адаптер-трансформер может применяться для адаптации штатных ненаправленных антенн в системах Wi-Fi – технологий к работе в сложной электромагнитной обстановке и повышает эффективность использования беспроводных точек доступа.

Беспроводные технологии передачи и приема информации – это наиболее развивающееся направление ускорения развития телекоммуникаций. Успехи в области совершенствования беспроводных сетей и систем приёмо-передачи, невозможны без создания принципиально новых устройств и способов их адаптации к усложняющейся электромагнитной обстановке. В системе функционирования беспроводных телекоммуникаций важнейшей задачей является обеспечение электромагнитной доступности в любой точке.

В работе предлагается новое устройство – антенный адаптер-трансформер. Это устройство устанавливается на ненаправленную штатную антенну и содержит, как показано на рисунке 1, ненаправленную штатную антенну 1, устройство крепления 2, радиально отходящие в размерах насадки диэлектрические плоскости для размещения пассивных виб-

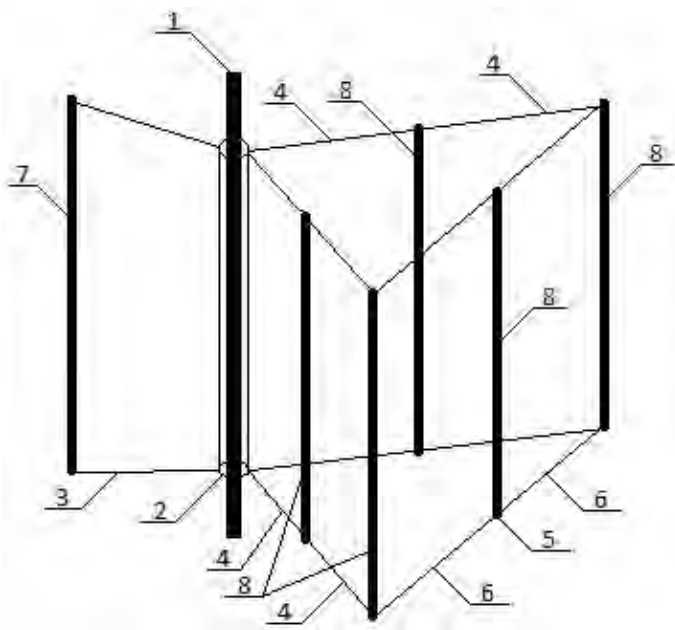


Рисунок 1 – Антенный адаптер-трансформер



раторов 3, идентичные диэлектрические плоскости для размещения структур директоров отходящих от диэлектрической насадки из одного места 4, узлы перегиба 5, продолжения участков плоскостей 6, рефлектор 7 и директоры 8.

Устройство крепления выполнено в виде диэлектрической насадки, охватывающей антенну, с возможностью вращения вокруг её оси, с радиально отходящими в размерах насадки диэлектрическими плоскостями для размещения пассивных вибраторов. При этом, не менее двух идентичных диэлектрических плоскостей для размещения структур директоров отходят от диэлектрической насадки из одного места, с возможностью изменения угла раскрыва от минимального до фиксированного и имеют узел перегиба внутри друг к другу для изменения направления продолжения участков плоскостей для фиксации на  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $180^\circ$  и соединением этих продолжений плоскостей друг с другом через идентичный узел перегиба. Фиксируемый угол раскрыва устанавливается при размещении участков продолжения плоскостей, ориентированных друг к другу под углом в  $90^\circ$  к радиально отходящим плоскостям. Диэлектрическая плоскость для устройства рефлектора не требует пояснений по размещению и находится на линии биссектрисы угла сзади от диэлектрических плоскостей для размещения структур директоров. Антенный адаптер-трансформер может быть преобразован в три самостоятельные антенные системы со своими техническими характеристиками.

Первой антенной системой является свёрнутое положение антенного адаптера-трансформера. В данном положении у двух идентичных диэлектрических плоскостей для размещения структур директоров, отходящих от диэлектрической насадки из одного места, имеющих узел перегиба внутри друг к другу, изменяют направления продолжения участков плоскостей для изменения направления продолжения участков плоскостей на  $180^\circ$ , до обратного, и фиксируют, сводя все плоскости с прижатием друг к другу. В этом случае происходит перегиб на  $180^\circ$  и центрального узла перегиба. При этом одинаковые по номерам, пассивные вибраторы, размещённые на отходящих плоскостях и на продолжениях участков плоскостей, будут находиться на возможно минимальных расстояниях друг к другу, электрически моделируют утолщённые директоры, а в комплексе формируют укороченную структуру классической антенны «волновой канал» с соответствующими параметрами.

Для второй трансформированной антенной системы две идентичные диэлектрические плоскости для размещения структур директоров, отходящих от диэлектрической насадки из одного места, имеющие узел перегиба внутри друг к другу разводят до расстояния, равного двойной протяжённости продолжения участков плоскостей с изменением направления продолжения участков плоскостей на угол, близкий к  $90^\circ$  и фиксируют. При этом две одинаковые классические антенные структуры «волновой канал» создадут суммарную расширенную диаграмму направленности с соответствующими параметрами.

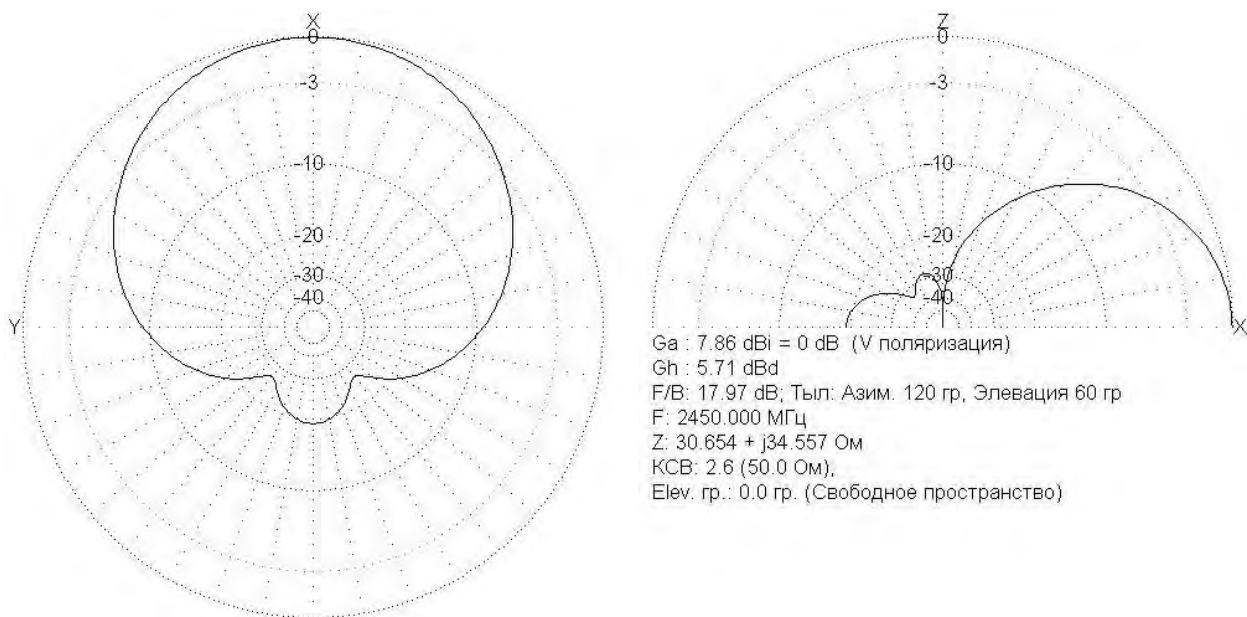


Рисунок 2 – Результаты моделирования характеристик антенны

Для случая третьей трансформированной антенной системы две идентичные диэлектрические плоскости для размещения структур директоров, отходящие от диэлектрической

насадки из одного места, сводятся друг к другу с расправлением до 0° в узле перегиба продолжений участков плоскостей и соединением тех и других друг с другом. При этом одинаковые по номерам, пассивные вибраторы, размещённые на отходящих плоскостях и на продолжениях участков плоскостей, будут находиться на возможно минимальных расстояниях друг к другу, электрически моделируют утолщённые директоры, а в комплексе формируют удлинённую структуру классической антенны «волновой канал» с соответствующими параметрами.

Размеры рефлектора и директоров, а также расстояния между ними и активным вибратором рассчитываются хорошо известными методами вычисления директорных антенн для средней длины волны рабочего диапазона частот. Оптимальные размеры адаптера были уточнены в процессе электронного моделирования с использованием программы MMANA для частоты 2450 МГц и перекрытия диапазона частот 2400-2500 МГц то есть в Wi-Fi диапазоне радиочастот. Результаты моделирования представлены на рисунке 2 и подтверждают эффективность работы предложенного антенного адаптера-трансформера.

Таким образом, можно сделать вывод, что предлагаемый антенный адаптер-трансформер может использоваться в системах Wi-Fi – технологий для адаптации штатных ненаправленных антенн к условиям сложной электромагнитной обстановки и повышает эффективность использования беспроводных точек доступа.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *ненаправленная антенна, антенный адаптер-трансформер, беспроводные точки доступа*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Калитёнков Николай Васильевич, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
*Милкин Владимир Иванович, доцент ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
*Лебедев Владимир Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
*Шульженко Александр Евгеньевич, аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *183010, г.Мурманск, ул.Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»*

## **ВЕНТИЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ПРИВОДА ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВОГО РАДАРА**

**ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»**

**О.О. Столярова, Д.Ю. Калинин**

**PRECISION POSITIONING OF THE SHIP RADAR BY PERMANENT MAGNETS CONVERTER-FED MOTOR**  
National research Tomsk polytechnic university  
O.O. Stolyarova, D.Yu. Kalinkin

There are modern aspects and the mathematical modeling precision positioning of the ship radar by permanent magnets converter-fed motor are given. The methods of reducing reactive pulsations torque permanent magnets converter-fed motor are researched.

*Keywords: permanent magnets converter-fed motor, reluctance torque, mathematical model*

Рассматриваются современные аспекты разработки и приводятся результаты математического моделирования вентильного двигателя с постоянными магнитами привода точного позиционирования судового радара. Исследуются методы снижения пульсаций реактивного момента вентильного двигателя с постоянными магнитами.

В последнее время вентильные двигатели с постоянными магнитами (ВДПМ) имеют повышенный интерес в связи с их активным использованием в промышленных электроприводах, благодаря высоким энергетическим и массогабаритными показателями [1]. ВДПМ конструктивно просты, надежны, имеют жесткие механические характеристики аналогичные коллекторным машинам и исключают затраты энергии на возбуждение. Все эти качества обуславливают применение ВДПМ в промышленных системах автоматизации, роботах, манипуляторах, приводах подачи движения металлорежущих станков, радиолокационных системах слежения и наведения, авиационной и медицинской технике в диапазоне малых и средних мощностей.

ВДПМ в составе привода точного позиционирования судового радара (ПСР) должен удовлетворять некоторым требованиям: высокая равномерность и точность хода, высокий удельный момент, устойчивость к перегрузкам, низкое энергопотребление, работа в тяжелых условиях эксплуатации и др.

Одной из проблем при использовании ВДПМ в ПСР является наличие зубцовых пульса-

ций электромагнитного момента, которые фиксируют ротор ВДПМ в обесточенном состоянии, вызывая при этом неравномерность хода. Эти пульсации еще называют реактивным моментом и возникают в двигателе за счет зубчатого строения якоря, асимметрии его магнитной цепи и неравномерного рабочего воздушного зазора [2].

Постоянное снижение стоимости магнитных материалов, а так же ускоряющееся развитие систем управления и устройств силовой электроники сделали возможным применения ВДПМ во всех областях техники. Поэтому исследование и разработка ВДПМ одно из приоритетных направлений.

Целью данной работы является исследование и разработка вентильного двигателя с постоянными магнитами привода точного позиционирования судового радара, обеспечивающего высокую равномерность хода ротора на основе математического моделирования.

На сегодняшний день применяются высокоэнергетические постоянные магниты на основе сплавов редкоземельных металлов (РЗМ), обладающих большой коэрцитивной силой. Это позволяет улучшить массогабаритные показатели ВДПМ и получить более высокий вращающий момент. Наиболее распространенные материалы РЗМ магнитов «самарий-кобальт» (Sm-Co) и «неодим-железо-бор» (Nd-Fe-B).

Конструкция разрабатываемого ВДПМ ПСР представляет собой магнитоэлектрическую машину с радиально намагниченными высококоэрцитивными постоянными магнитами на роторе и зубцовым статором. Исходными данными математической модели ВДПМ в ПСР являются: число полюсов  $2p=8$ , число фаз  $m=3$ , число пазов  $z_1=24$ , напряжение питания постоянного тока  $U_1=27$  В; активное сопротивление фазы  $R=0,25$  Ом; индуктивность по продольной и поперечной осям  $L_d=L_q=2,85 \cdot 10^{-5}$  Гн; основной магнитный поток  $\Phi_0=9,7 \cdot 10^{-5}$  Вб; момент инерции вращающихся частей  $J=33 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>2</sup>; угловая частота вращения ротора  $\omega_p=100,53$  рад<sup>-1</sup>; номинальный момент двигателя  $M_n=0,4$  Н·м; реактивный момент  $M_m=0,136$  Н·м.

Принятые допущения:

- отсутствует насыщение магнитной цепи и эффект вытеснения тока;
- обмотки статора симметричны;
- индуктивности рассеяния не зависят от положения ротора.

Исследование проведено на основании введения в обобщенную математическую модель синхронного двигателя в системе координат  $dq$  уравнения реактивного момента [3, 6]

$$\left\{ \begin{array}{l} U_d = Ri_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q; \\ U_q = Ri_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d + \omega \Phi_0; \\ M = \frac{3}{2} p \Phi_0 i_q \\ J \frac{d\omega_p}{dt} = M - M_n - M_m \sin 2p\vartheta \\ \frac{dJ}{dt} = \omega_p \end{array} \right. , \quad (1)$$

где  $u_d, u_q$  – проекции вектора напряжения на оси  $d$  и  $q$ ;

$i_d, i_q$  – проекции вектора тока на оси  $d$  и  $q$ ;

$L_d, L_q$  – проекции вектора индуктивности на оси  $d$  и  $q$ ;

$R$  – активное сопротивление статора;

$p$  – число пар полюсов;

$J$  – момент инерции ротора;

$\omega_p$  – угловая частота вращения ротора;

$M_n$  – момент нагрузки на валу;

$\vartheta$  – угол поворота ротора.

Уравнение, учитывающее влияние пульсаций реактивного момента [4]

$$M = \frac{\partial W}{\partial \vartheta} = -M_n \sin 2p\vartheta. \quad (2)$$

Приведенная система уравнений (1) является математическим описанием ВДПМ ПСР в системе координат  $dq$ , которая промоделирована с помощью программы Math lab с пакетом расширения Simulink (рисунок 1) [6].

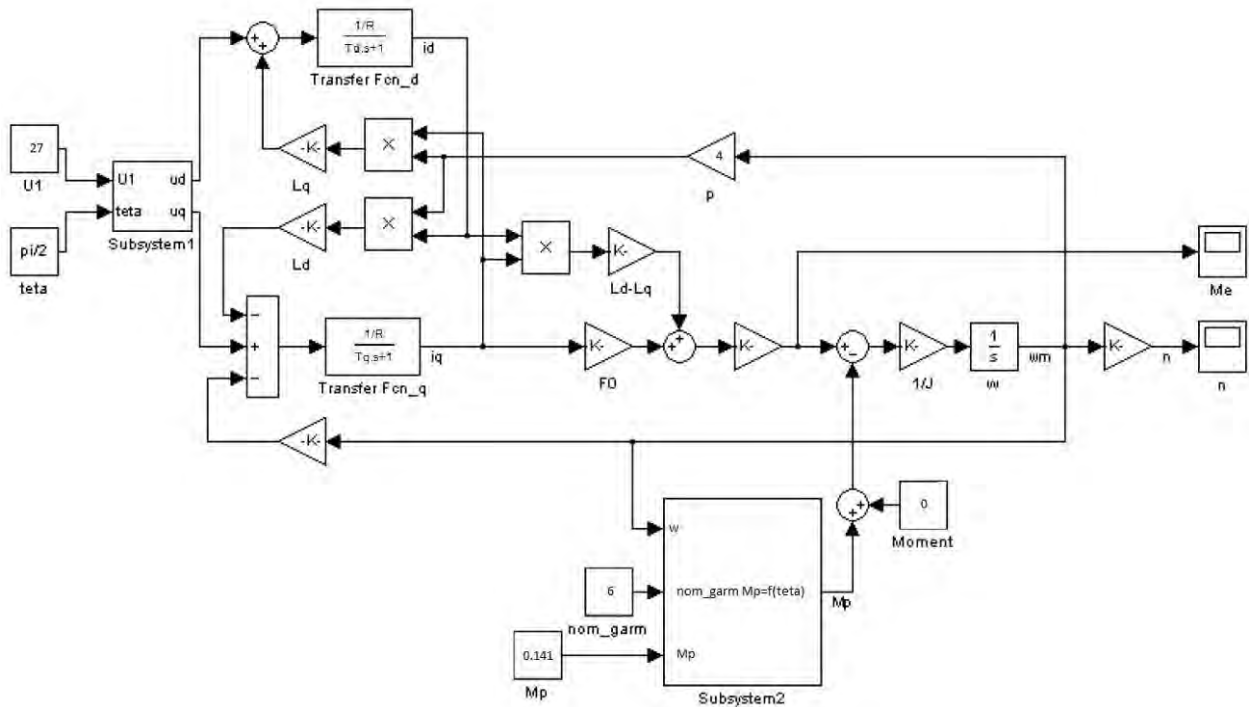


Рисунок 1 – Модель ВДПМ ПСР в Math lab Simulink

В результате моделирования ВДПМ ПСР построены графики (рисунок 2) в режиме холостого хода. Следует отметить, что пульсации реактивного момента проявляются в момент пуска и составляют 24,86% от номинального рассматриваемого образца. Время с момента пуска до установившейся частоты вращения 0,1315 с.

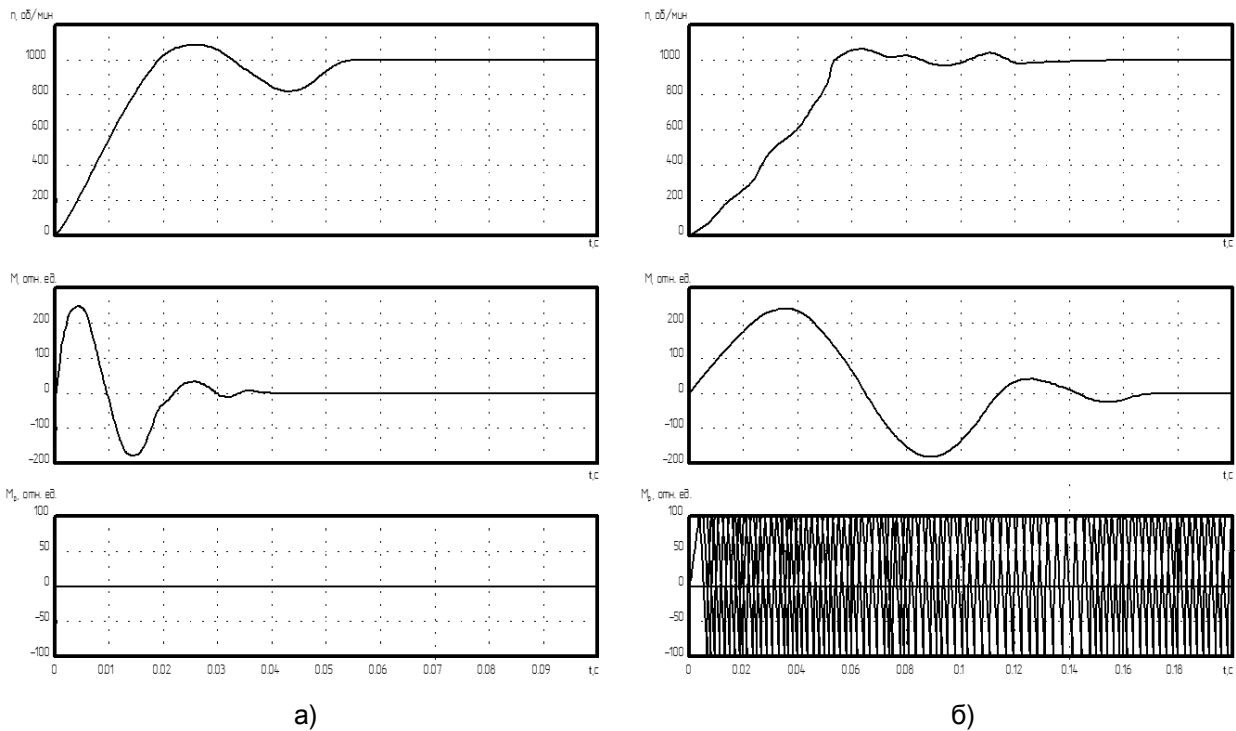


Рисунок 2 – Зависимость частоты вращения, момента и реактивного момента от времени при холостом ходе: а) без учета пульсаций реактивного момента; б) с учетом пульсаций реактивного момента

Проведенное исследование показало, что уменьшение частоты вращения ведет к переходу двигателя в шаговый режим из-за увеличения реактивного момента, когда момента инерции недостаточно для сглаживания устойчивых фиксированных положений ротора. Одним из способов уменьшения влияния пульсаций реактивного момента является скос пазов статора или полюсов ротора.

На рисунке 3 показано, что при увеличении угла скоса пазов статора реактивный момент уменьшается. В теории классических коллекторных электрических машин обычно угол соответствует двум пазовым делениям.

Пазовое деление статора

$$\alpha_z = \frac{360}{Z_1} = \frac{360}{24} = 15^\circ,$$

то есть при скосе пазов в  $30^\circ$  пульсации реактивного момента будут практически полностью устранены [4, 6].

Другим способом уменьшения пульсаций реактивного момента при разработке ВДПМ является выбор рационального соотношения пазово-зубцовой зоны статора. В таблице приведены результаты влияния числа пазов на пульсации реактивного момента, из которых следует, что при дальнейшем проектировании необходимо выбирать число пазов нечётным, поскольку при чётном числе пульсации реактивного момента резко возрастают.

Таблица – Зависимости пульсаций реактивного момента от числа пазов статора

Число пазов статора	Амплитуда пульсаций реактивного момента, %
18	12,56
21	2,55
24	24,86
27	2,43

Стоит отметить, что при сравнительно большом числе пазов статора, указанный скос не вызывает существенного снижения пульсаций реактивного момента. Так же выполнение большого числа пазов ограничено технологией производства листов статора [7].

Таким образом, можно сделать выводы:

1 Для вентильных двигателей необходимо применять постоянные магниты на основе сплавов редкоземельных металлов в силу их высоких энергетических показателей.

2 Разработана математическая модель вентильного двигателя с постоянными магнитами привода точного позиционирования судового радара в системе координат  $dq$  и промоделирована в Math lab Simulink, которая учитывает влияние реактивного момента и в дальнейшем позволит оптимизировать проектирование вентильных двигателей с постоянными магнитами.

3 По полученным зависимостям установлено негативное влияние реактивного момента, которое проявляется в ухудшении пусковых характеристик, увеличении шума, вибрации и снижении КПД, а так же показано, что для наименьшего влияния реактивного момента необходим скос пазов в  $30^\circ$  эл. град.

4 В результате полученных данных влияния числа пазов на пульсации реактивного момента, следует, что при дальнейшем проектировании необходимо выбирать рациональное соотношение пазово-зубцовой зоны вентильного двигателя с постоянными магнитами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сравнительный анализ векторного управления и прямого управления моментом синхронного электродвигателя с постоянными магнитами / Абд Эль Вхаб Амр Рефки, А.С. Каракулов, Ю.Н. Деметьев, С.Н. Кладиев // Изв. Том. политехн. ун-та. - 2011. -Т.319, №4. -С. 93-99.  
 2 Дубенский, А.А. Бесконтактные двигатели постоянного тока / А.А. Дубенский. -М.: Энергия, 1967. -144 с.  
 Каган, А.В. Математическое моделирование в электромеханике. Ч.2. Письменные лекции / А.В. Каган. -СПб.: СЗТУ, 2002. -73 с.  
 3 Афанасьев, А.А. Реактивный момент обесточенного вентильного двигателя с постоянными магнитами / А.А. Афанасьев

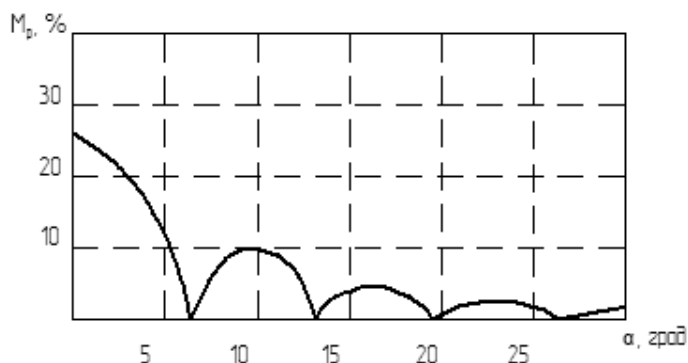


Рисунок 3 – Зависимость реактивного момента от угла скоса пазов

// Электричество. -2003. -№4. -С. 46-51.

4 Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учеб. пособие / С.Г. Герман-Галкин. -СПб.: Корона принт, 2001. -320 с.

5 Опалев, Ю.Г. Вентильные электродвигатели для прецизионных быстродействующих приводов мехатронных технологических модулей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ю.Г. Опалев. -Чебоксары, 2011. -20 с.

6 Реактивный момент обесточенного вентильного двигателя с магнитами на ярме ротора / А.А. Афанасьев, В.А. Макаров, В.Е. Никифоров, В.А. Чихняев, С.В. Кирилов // Электричество. -1989. -№3. -С. 32-36.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *вентильный двигатель с постоянными магнитами, реактивный момент, математическая модель*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Столярова Ольга Олеговна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»  
Калинкин Дмитрий Юрьевич, аспирант ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

## РИСК ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ г.НОВОСИБИРСКА ОТ ДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВО ВРЕМЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ В 2012 ГОДУ

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Новосибирской области  
ФБУН «Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены» ФС по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

**В.В. Турбинский, В.А. Хмелев, А.Ф. Щербатов, В.А. Отрощенко**

THE RISK TO PUBLIC HEALTH FROM NOVOSIBIRSK ACTION OF AIR POLLUTANTS ON THE TIME OF WILDFIRES IN 2012

V.V. Turbinsky, V.A. Khmelev, A.F. Shcherbatov, V.A. Otroshchenko

The results of calculations of risk to public health from the effects of chemical pollution of air showed that the concentrations of the individual substances do not pose a threat to human health, since they create the risk did not exceed acceptable values.

*Keywords: natural forest fires, air pollution, ecology of urban areas, the carcinogenic risk, health of the population*

Результаты расчетов риска для здоровья населения от действия химических загрязнений атмосферного воздуха показали, что концентрации отдельных веществ не представляли угрозы для здоровья человека, так как создаваемый ими риск не превышал приемлемого.

Согласно выводам Международного агентства по изучению рака, загрязненный наружный воздух является канцерогенным для человека и приводит к развитию рака легких, и по заявлениям сотрудника Агентства Курта Стрейфа: «Воздух загрязнен смесью токсичных веществ, вызывающих рак. Теперь мы знаем, что загрязнение атмосферного воздуха представляет не только риск для здоровья, но является ведущей причиной смерти от рака» (рисунки 1).

В ходе исследования агентства оценивался уровень концентрации некоторых загрязнителей воздуха, в частности твердых частиц. В результате они были классифицированы как канцероген для человека. Отмечается наличие повышенного риска развития рака легких в связи с воздействием твердых частиц.



Рисунок 1 – Раковые клетки в легких человека

Хотя состав загрязненного воздуха и уровень воздействия значительно варьируется между различными территориями, выводы ученых относятся ко всем мировым регионам. Проведенные исследования показывают, что в последние годы уровень воздействия загрязненного воздуха значительно вырос в некоторых странах, особенно в быстроразвивающихся с большой численностью населения. По последним данным, в 2010 г. скончались 223 тыс. человек, страдающих раком легких, который возник в результате воздействия загрязненного воздуха.

Летом 2012 года Новосибирск был буквально окутан дымом (рисунок 2). Причина смога связана с большим количеством природных пожаров в Красноярском крае и Томской области. Северный и северо-восточный ветер способствовал переносу дыма в Новосибирск (ри-

сунок 3).



Рисунок 2 – Задымление (смог) на городской территории

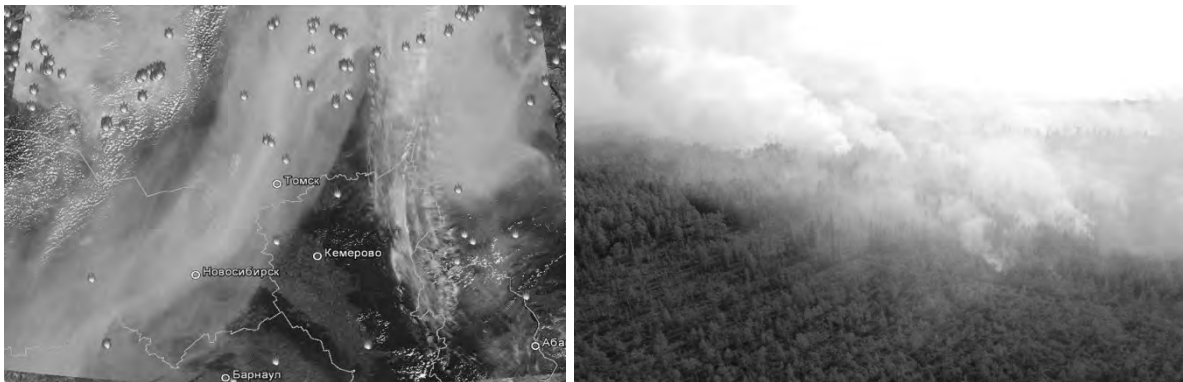


Рисунок 3 – Очаги лесных пожаров и задымление Западной Сибири летом 2012 года

В связи со сложившейся ситуацией, пожарами на территориях соседних субъектов (Томская, Омская области) и погодными условиями в г. Новосибирске и районах Новосибирской области в июле-августе 2012 года, Управлением Роспотребнадзора по Новосибирской области проводилась работа по ежедневному мониторингу атмосферного воздуха. За пожароопасный период было исследовано 496 проб атмосферного воздуха. Информация о результатах мониторинга доводилась до сведения заинтересованных организаций, населения (рисунки 4-6).

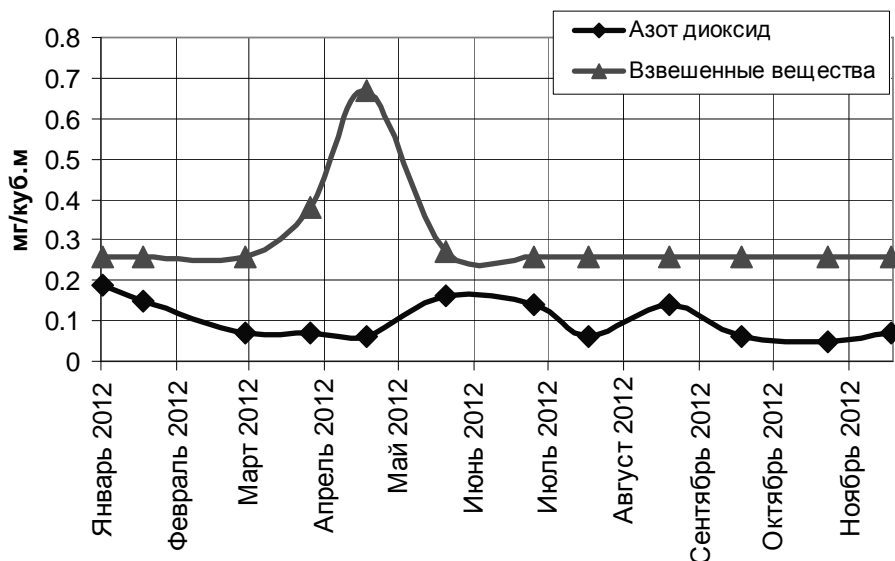


Рисунок 4 – Годовая динамика концентрации загрязняющих веществ – азота оксид и взвешенные вещества в атмосферном воздухе Ленинского района г. Новосибирска



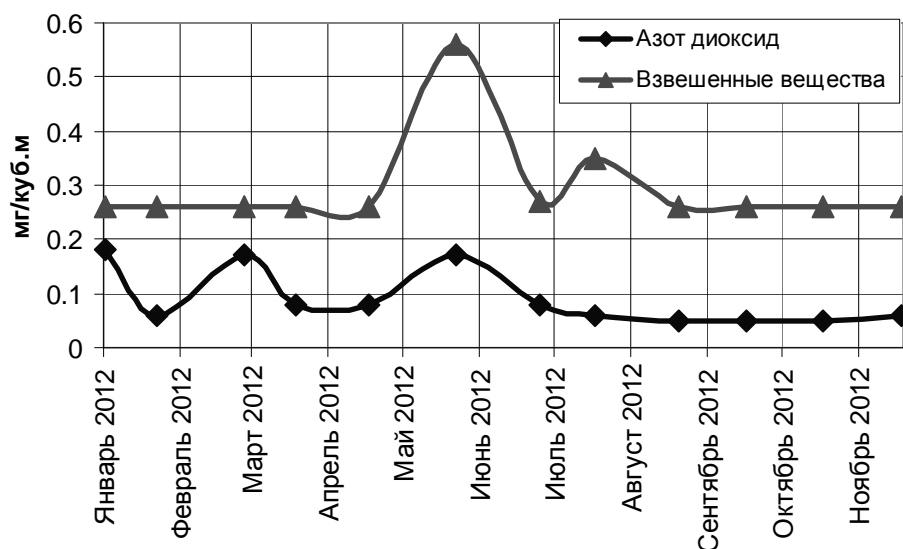


Рисунок 5 – Годовая динамика концентрации загрязняющих веществ – азота оксид и взвешенные вещества в атмосферном воздухе Октябрьского района г. Новосибирска

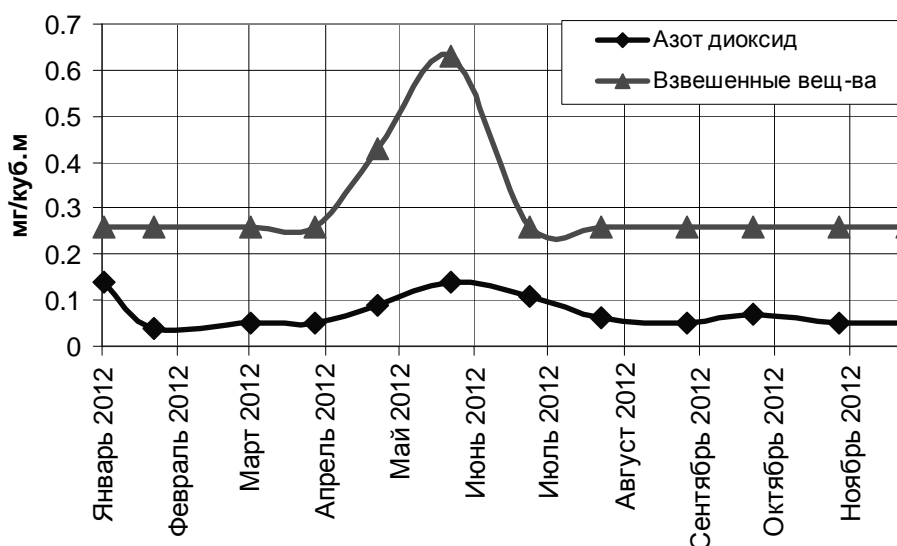


Рисунок 6 – Годовая динамика концентрации загрязняющих веществ – азота оксид и взвешенные вещества в атмосферном воздухе Зельцовского района г. Новосибирска

Результаты расчетов риска для здоровья населения от действия химических загрязнений атмосферного воздуха показали, что концентрации отдельных веществ не представляли угрозы для здоровья человека, так как создаваемый ими риск не превышал приемлемого. В тоже время, обладая эффектом суммации при действии на органы дыхания, эти вещества (взвешенные частицы, окислы азота, серы, углерода) формировали риск, превышающий допустимый в 1,5-3,1 раза. Таким образом, суммарное действие химических веществ дыма лесных пожаров летом 2012 года создавало для жителей г. Новосибирска повышенный риск заболевания органов дыхания, особенно у лиц страдающих хроническими заболеваниями дыхательной системы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** природные лесные пожары, загрязнение воздуха, экология городских территорий, канцерогенный риск, здоровье населения

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Турбинский Виктор Владиславович, докт. мед. наук, директор ФБУН Новосибирский НИИГ Роспотребнадзора

Хмелев Вячеслав Александрович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФБУН Новосибирский НИИГ Роспотребнадзора

Щербатов Александр Федорович, руководитель Управление Роспотребнадзора по НСО  
Отрощенко Виктория Анатольевна, канд. мед. наук, начальник отдела Управление Роспотребнадзора по НСО

**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630108, г.Новосибирск, ул.Пархоменко, 7, ФБУН Новосибирский НИИГ Роспотребнадзора  
630132, г.Новосибирск, ул.Челюскинцев, 7а, Управление Роспотребнадзора по НСО

**САНИТАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

ФБУН «Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены» ФС по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

**В.В. Турбинский, В.А. Хмелев**

**HEALTH SAFETY OF TRANSBOUNDARY WATER BODIES**

V.V. Turbinsky, V.A. Khmelev

At the present stage of scientific and methodological solution to the problem of sanitary protection of rivers and groundwater sources require in-depth studies of the health status of cross-border and border sources of drinking water and improvement of scientific evidence linking the water factor and public health.

*Keywords: border territory, transboundary water object, chemical and bacterial pollution, sanitary protection zone*

На современном этапе научно-методическое решение проблемы санитарной охраны бассейнов рек и подземных источников потребовало углублённого исследования особенностей санитарного состояния трансграничных и пограничных источников питьевого водоснабжения и совершенствование методов научного доказательства связи водного фактора и здоровья населения.

Санитарная охрана источников питьевого водоснабжения в Российской Федерации по бассейновому принципу до 2000 года решалась путём разработки Генеральной Схемы Комплексного использования и охраны водных ресурсов на период до 2000 года и в научно-методическом плане относилась преимущественно к районам формирования Территориально-производственных комплексов.

С переходом государства на новые социально-экономические условия развития, при которых субъектам РФ предоставлены значительный суверенитет. С присоединением РФ к Международным соглашениям и Конвенциям по совместному использованию водных объектов в рамках ООН, ВОЗ, ЕЭС, ВТО, и других международных организаций возникла проблема санитарной охраны бассейнов рек и подземных источников на трансграничных и пограничных участках.

На современном этапе научно-методическое решение этой проблемы потребовало углублённого исследования особенностей санитарного состояния трансграничных и пограничных источников питьевого водоснабжения и совершенствование методов научного доказательства связи водного фактора и здоровья населения. В Российской Федерации 70 крупных и средних рек источников питьевого водоснабжения являются трансграничными и пограничными.

*Санитарно-гигиенический прогноз опасности загрязнения источников водоснабжения для здоровья населения Сибири и Дальнего Востока.* В Российской Федерации более 2 тыс. поверхностных источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, из которых только 30% имеют проекты зон санитарной охраны, утверждённые в установленном порядке органами исполнительной власти. Зона санитарной охраны источника централизованного водоснабжения представляет собой специальную выделенную территорию с особыми условиями использования, исключающими возможность загрязнения водного объекта; ухудшения качества воды, подаваемой населению и должна использоваться в градостроительных отношениях, а проектные материалы по организации и необходимым мероприятиям, должны входить в состав материалов схем территориального планирования Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных районов [1, 2].

Особого внимания заслуживают трансграничные водные объекты – Амур, Селенга, Иртыш, истоки которых расположены за пределами РФ. Питьевое водоснабжение населения из таких источников сопряжено с проблемой санитарной охраны питьевых водозаборов, тогда как часть второго и третьего поясов зоны санитарной охраны водопровода должны распространяться на территорию сопредельного государства. Для таких условий типичными становятся проблемы:

- 1) полноты и достоверности контроля за соблюдением санитарного режима хозяйственной деятельности, сбросом сточных вод;
- 2) мониторинга и анализа санитарно-эпидемиологической обстановки на территории зоны санитарной охраны.

Было установлено, что в Сибири санитарное состояние поверхностных водных объек-

тов - источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения с трансграничным (р. Амур и р. Иртыш) и межрегиональным (р. Обь и р. Томь) расположением зоны санитарной охраны в соответствии с [2] характеризуется пониженным потенциалом самоочищения воды в углеродистой стадии окисления органического вещества (таблица).

*Таблица – Природный потенциал самоочищения поверхностных водных объектов- источников питьевого водоснабжения в Сибири*

Наименование водного объекта, створ	Индекс цветности воды	Число дней в году с температурой выше 16 °С	ППСН2О
р. Амур, г. Хабаровск	0,8	85	0,29 – пониженный
р. Обь, г. Новосибирск	1,0	98	0,27 – пониженный
р. Иртыш, г. Омск	0,9	105	0,29 – пониженный
р. Томь, г. Северск	1,0	83	0,23 – пониженный

По содержанию техногенных химических веществ в воде исследованных рек в створах питьевых водозаборов городов – Хабаровска, Новосибирска и Омска, а также Северска Томской области отмечен допустимый уровень техногенного воздействия, как по индивидуальному канцерогенному риску, так и неканцерогенных эффектам нарушения критических органов и систем организма человека.

Выявлены особенности санитарного состояния источников хозяйственно-питьевого водоснабжения населения с трансграничным или межрегиональным расположением территории зоны санитарной охраны:

1) наличие в воде поверхностного трансграничного источника техногенных химических веществ не используемых на территории Российской Федерации (р. Амур – пестицидов – ГХБ (гексахлорбензол) ДДЕ, ДДТ (сумма изомеров), гербицидов – альдрин, пропазин, атразин, симазин, прометрин);

2) постепенное увеличение концентраций техногенных загрязнений воды подземного источника, имеющего гидравлическую связь с загрязненным межрегиональным водным объектом (подземный водозабор г. Северск, р. Томь: нефтепродукты, а также 1,1-дихлорэтилен, 1,2-дихлорэтан, трихлорэтилен, бенз(а)антрацен, линдан, бенз(к)флуорантен; четыреххлористый углерод, хлороформ, ДИ (2-этилгексил)фталат);

3) относительная стабильность допустимого уровня загрязнения водного объекта с регулируемым стоком (р. Обь г. Новосибирск, р. Иртыш г. Омск).

*Применение статистики Хёрста для прогноза динамики водно-санитарной обстановки и заболеваемости населения.* Одной из тенденций развития настоящего общества является повышение роли прогнозно-аналитических исследований. Это повышение отмечается в сфере разработки технологий и спроса на них. Развитие в области современных информационных технологий открывает широкие возможности инструментального обеспечения этой потребности. Показатель Хёрста можно использовать для классификации и оценки стохастичности и/или детерминированности реальных процессов, а также для оценки временных интервалов предсказуемости. Теоретическое обобщение эмпирического метода Херста было проведено Б.Мандельбротом на основе анализа обобщенного броуновского движения в виде модели.

Расчёта коэффициента Хёрста проводится по формуле

$$H = \frac{\text{Lg}(N)R}{S},$$

где  $R$  – амплитуда между максимальным и минимальным значениями показателя;

$S$  – среднеквадратическое отклонение;

$N$  – объем выборки.

Процессы, для которых  $0 < H < 0,5$  называются антиперсистентными и для них характерна знакопеременная тенденция в сочетании с относительно высоким уровнем зашумленности. Процессы, для которых  $0,5 < H < 1,0$  называются персистентными и для них характерно сохранение наблюдаемой тенденции в сочетании с относительно низким уровнем зашумленности. При  $H = 0,5$  имеют место процессы, в которых тренд отсутствует, а степень зашумленности определяется факторами, которые нельзя учесть в методе Херста-Мандельброта.

С помощью R/S-анализа динамики показателей заболеваемости населения г. Новосибирск, г. Северск, г. Омск, г. Хабаровск дана характеристика динамики заболевае-

мости как:

- закономерная, сохраняющая на будущее направленность тренда (коэффициент Хёрста более 0,5);
- переменная, то есть в будущем способная сменить направленность на противоположную (коэффициент Хёрста менее 0,5)
- не имеющая закономерности, случайная (коэффициент Хёрста равен 0,5).

Установлено, что по мере ухудшения санитарной обстановки в населённом пункте снижается число классов болезней с закономерным характером динамики, и увеличивается число классов болезней со случайной динамикой показателей, что свидетельствует о снижении эффективности профилактических программ здравоохранения.

*Особенности санитарно-экологического состояния рек на урбанизированных участках.* Обеспечение населения безопасными условиями хозяйственно-питьевого и рекреационного водопользования в условиях мегаполиса – является одной из важнейших экономических и гигиенических проблем, требующих постоянного и безотлагательного внимания.

Особое место занимают урбанизированные участки рек. Здесь даже при слабых размывах возникает угроза разрушения береговых объектов, усугубляющаяся несогласованностью воздействий на реку как самих инженерных объектов, так и мероприятий по защите берегов от размыва. Прибрежные территории в зоне больших городов, а также важных транспортных и промышленных объектов особенно значимы и с экономической и экологической стороны. Первое условие объясняется ограниченностью свободных территорий, которые могут быть использованы для различных строительных целей и благоустройства зон отдыха населения – пляжей, парков, баз спортивного судостроения. Экологический ущерб от размыва и оползней берегов образуется за счет загрязнения вод обрушивающихся в реку масс грунта с большим включением загрязнений и коммунальных, транспортных и промышленных отходов.

Во многих городах берегоукрепление производится автономно каждым городским субъектом, часто без проектирования, наиболее дешевым способом. Это дает кратковременный эффект и впоследствии приводит к еще большему обострению ситуации.

К берегоукреплению и берегозащите в городской черте предъявляются повышенные эстетические и прочностные требования, что естественно усложняет и удорожает строительные работы. При этом обычно останавливаются на эстетических и экономических факторах.

Проведение активных берегозащитных мероприятий, как перераспределяющих расход воды прорезей, так и берегозащитных оградительных дамб, шпор и донных бун, требует учета изменения поля скоростей реки с образованием тиховодов и заводей, становящихся накопителями всевозможных загрязнений, выносимых с территории населенных пунктов и акваторий портов, где выполняются грузовые и бункеровочные операции с нефтью и нефтепродуктами, а особенно в зонах впадения притоков, сток которых перенасыщен промышленными и хозяйственно-бытовыми (нередко токсичными) загрязнениями.

Также необходимо учитывать, что основная роль в формировании экологического состояния рек принадлежит гидрологическому режиму. Повышение содержания в воде загрязняющих веществ у берегов может быть в 10 раз выше, чем на середине русла. При этом в русле реки в целом гидрохимический режим может быть достаточно удовлетворительным, однако у берегов и в протоках его показатели обычно выходят за пределы нормы.

Проведенные исследования позволяют дать следующие рекомендации: непосредственно в зоне любых крупных источников загрязнения речной экосистемы возведение берегоза-

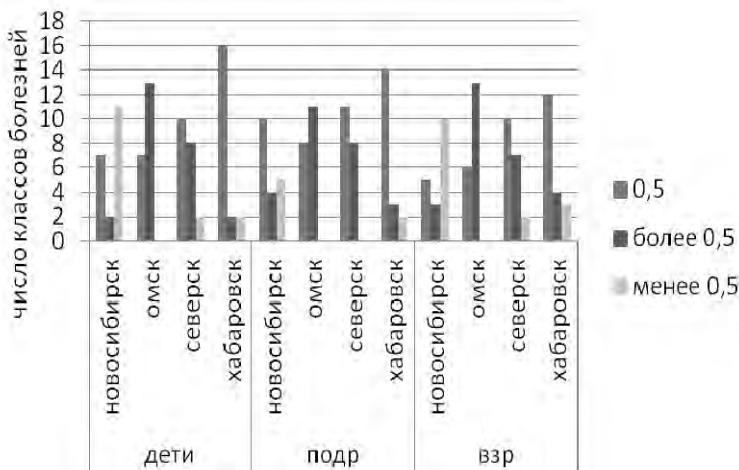


Рисунок 1 – Распределение числа классов болезней заболеваемости населения в г.Новосибирск, г.Омск, г.Северск и г.Хабаровск по закономерности прогнозируемой динамики (по коэффициенту Хёрста)

щитных шпор нежелательно, так как это может послужить причиной создания у берегов локальных скоплений загрязняющих веществ, с превышением ПДК. В пределах таких участков экологически безопаснее защищать берега от размыва сооружениями пассивного действия – каким-либо покрытием или намывом пляжа, с расчетом периодической подсыпки грунта для его восстановления (через 3-4 года).

Хотим мы того или нет, но экологическая безопасность берегозащиты будет складываться из воздействия на поток сточных вод с берегов и из притоков, протекающих через урбанизированные территории. Необходимо еще раз отметить, что основополагающим в назначении конструкций берегозащитных сооружений, является тщательный анализ природных условий каждого участка и поиск оптимальных решений, исходя из назначения и значимости защищаемого участка. Очень важным при этом является гармоничное соотношение параметров берегозащитных сооружений, адекватное условиям защищаемого объекта и требованиям санитарно-экологического состояния, как береговой полосы, так и водоохраной зоны в целом.

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

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

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

*Методическая схема обоснования гигиенических основ водопользования для трансграничных водных объектов.* На рисунке 2 представлена разработанная и апробированная на территории Омской, Томской, Новосибирской, Еврейской автономной области, Хабаровского, Алтайского, Красноярского (Эвенкийский автономный муниципальный район) краёв, методическая схема гигиенических основ правил водопользования для трансграничных, межрегиональных водных объектах.

Гигиенический блок схемы (А I, II) включает определение приоритетных патогенетических факторов риска условий водопользования населения, осуществление их комплексной гигиенической регламентации и проведение гигиенической классификации источников водопользования по степени санитарной защищённости источников водоснабжения населения и риска питьевой воды для здоровья человека с учётом природных и техногенных факторов.

На примере ЗАТО г.Северск Томской области показано, что промышленное развитие и изменение экономических связей, концентрация вредных производств в промышленных центрах Сибири приводит к тому, что снижается надёжность системы санитарной охраны источников централизованного питьевого водоснабжения населенных в таких центрах.

Клинико-гигиенический блок (В I, II) связан с выявлением детерминант развития хронического стресса на популяционном уровне. Он включает разработку и применение методов скрининга заболеваний с латентной формой течения доминантных для данного региона, клинико-гигиеническую классификацию степени проявления первичных изменений в организме человека, патогенетически направленных на развитие данных заболеваний и санацию групп риска.

Третий уровень (III) включает регламентацию индивидуального и комплексного действия неблагоприятных факторов условий водопользования для конкретного региона, установление индивидуальных и региональных нормативов, выявление патогенетической направленности действия водного фактора риска на здоровье различных групп населения.

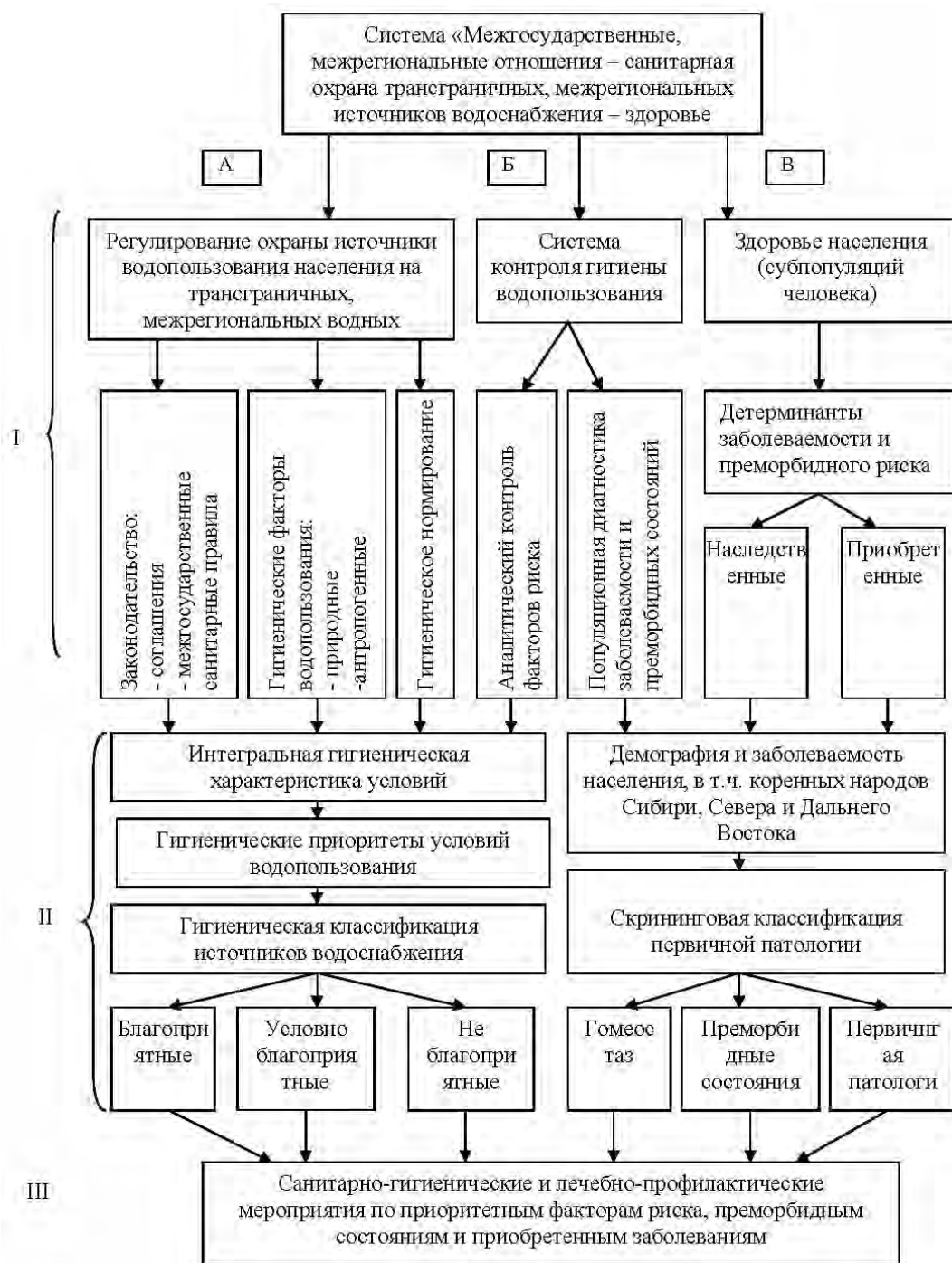


Рисунок 2 – Методическая схема обоснования гигиенических основ правил водопользования для трансграничных, межрегиональных водных объектах

Использование данной методической схемы при проведении социально-гигиенического мониторинга за условиями хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования позволило разработать целенаправленные мероприятия по улучшению водно-санитарной обстановки на территории Новосибирской, Омской, Томской, Еврейской автономной областей, Хабаровского, Красноярского, Алтайского краёв, что нашло отражение в материалах Государственных докладов. Важная роль в методологии анализа гигиены водопользования отводилась нормативно правовому обеспечению управления охраной источников водопользования и профилактикой их загрязнения сточными водами. Решение данного вопроса необходимо осуществлять как на уровне межгосударственных соглашений, так и межрегиональных связей. На основе анализа конвенций и резолюций ООН, межгосударственных соглашений Российской Федерации с Республикой Казахстан, Китайской народной республикой, Монгольской народной республикой, федерального, регионального и местного законодательства в сфере регулирования по использованию и охране водных ресурсов, были под-

готовлены проекты санитарных правил для зон санитарной охраны, а также предложения для межгосударственных и межрегиональных соглашений по использованию, обеспечению контроля и обмену информацией о санитарном состоянии трансграничных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Омск (р. Иртыш), г. Хабаровск. (р. Амур).

**Выводы:**

1 Поверхностные источники хозяйственно-питьевого водоснабжения населения в Сибири с трансграничным и межрегиональным расположением территории зоны санитарной охраны характеризуются пониженным потенциалом самоочищения;

2 При трансграничном или межрегиональном расположении зоны санитарной охраны источника хозяйственно-питьевого водоснабжения населения в воде источника обнаруживаются техногенные химические вещества поступающие в водный объект с территории сопредельного субъекта Российской Федерации или сопредельного государства;

3 Нестабильность санитарного состояния источника питьевого водоснабжения населения в результате неконтролируемого воздействия с территории сопредельных субъектов Российской Федерации или государства снижают эффективность мероприятий профилактических программ здравоохранения;

4 Для обеспечения мероприятий по санитарной охране трансграничных и межрегиональных источников питьевого водоснабжения населения необходимо развивать договорной процесс по обеспечению санитарных условий водопользования трансграничными источниками питьевого водоснабжения руководствуясь принципами: согласования створов и сроков оценки загрязнения вод в зоне санитарной охраны с учётом гидрологических режимов; двухэтапного гигиенического мониторинга и совместного утверждения проектов зон санитарной охраны, согласования нормативов воздействия на водные объекты.

5 Предложены унифицированные принципы охраны трансграничных и пограничных поверхностных и подземных источников питьевого водоснабжения Российской Федерации - законодательного обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения; соблюдения нормативов качества воды; территориального (бассейнового) гигиенического анализа санитарного состояния водоисточников; межрегиональной и межгосударственной унификации водно-санитарного законодательства на основе международных договоров; комплексного мониторинга санитарного состояния источников питьевого водоснабжения и здоровья населения; межгосударственного, межрегионального регулирования питьевого водопользования; экстерриториального контроля подземных питьевых водозаборов в границе 1 пояса зоны санитарной охраны.

6 Проблема использования трансграничных и приграничных рек должна решаться на межгосударственном уровне, снимая тем самым политико-экономическую и социальную напряженность в этих районах. В России вызывают беспокойство проекты переброски вод верхнего Иртыша в безводные реки Китая и возможном безвозвратном отборе воды в Казахстан, для ирригации и пополнения погибающего Аральского моря, что катастрофически снизит водность Иртыша в районе Омска, Тобольска, Ханты-Мансийска, ведь реализация подобных планов может привести к поистине глобальным изменениям, ведь пока в этом регионе действующих межгосударственных соглашений, регулирующих использование водных ресурсов, практически не применяется.

7 В заключение следует отметить, что гигиенические основы правил водопользования для трансграничных, межрегиональных водных объектов, сочетающих анализ нормативно-правового обеспечения, санитарно-гигиенической и санитарно-эпидемиологической обстановки, распространения заболеваний, этиопатогенетически обусловленных водным фактором и обоснование мер их профилактики, являются эффективным средством обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия условий хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения: СанПиН 2.1.4.1110-02. -М., 2002. -15 с.

2 Градостроительный кодекс Российской Федерации: федер. закон от 29 дек. 2004 г. №190-ФЗ. -М., 2010.

3 О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2010 году: гос. докл. -М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. -431 с.

4 Гигиенические основы решения территориальных проблем (на примере КАТЭКа) / А.А. обринский, Н.Р. Косибород, В.М. Пивкин, Е.М. Трофимович. -Новосибирск: Наука, 1987. -252 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** приграничные территории, трансграничный (межрегиональный) водный объект, химическое и биологическое загрязнение, зона санитарной охраны

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** Турбинский Виктор Владиславович, докт. мед. наук, директор ФБУН Новосибирский НИИГ

Роспотребнадзора

Хмелев Вячеслав Александрович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФБУН Новосибирский НИИГ Роспотребнадзора

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630108, г.Новосибирск, ул.Пархоменко, 7, ФБУН Новосибирский НИИГ Роспотребнадзора

## **ДИНАМИКА ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД**

Тобольская государственная социально-педагогическая академия им. Д.И. Менделеева, филиал ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет»  
ФГБУН Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения РАН

**Н.Г. Ильминских, А.Г. Иванова, Д.В. Таратынов**

**DYNAMICS OF HERBACEOUS VEGETATION UNDER THE INFLUENCE OF OIL STRATUM MINERALIZED WATERS**

Tobolsk state social and pedagogical academy named D.I. Mendeleev

Tobolsk complex research station of the Ural separation of the Russian academy of sciences

N.G. Ilminskih, A.G. Ivanova, D.V. Taratynov

Research of change of mass of plants with the purpose of determination of possibility of renewal of in salt industry soils by plants.

*Keywords: renewal of soil, mineral underground waters, mass of plants*

Исследованы изменения массы растений с целью определения воздействия на них пластовых минерализованных вод различной концентрации.

Производственная деятельность нефтедобывающих предприятий обуславливает существенное воздействие на природные компоненты и комплексы [1, 2]. При добыче жидких углеводородов из недр Земли наверх поступают так называемые флюиды, то есть нефть (около 10%) и пластовые минерализованные воды – ПМВ (около 90%). После процесса сепарации товарная нефть идет на нефтеперекачивающие станции (НПС), а ПМВ закачивается обратно в нефтенесущий пласт для сохранения пластового давления. ПМВ – это очень агрессивная жидкость, раствор различных токсичных солей (таблица). Он часто разъедает трубы и изливается. В результате происходит засоление почв, грунтовых и поверхностных вод – техногенный галогенез.

В связи с увеличением количества чрезвычайных ситуаций на объектах нефтяной отрасли, негативное воздействие разливов нефти на окружающую среду становится все более существенным. Экологические последствия при этом носят трудно учитываемый характер, поскольку нефтяное загрязнение нарушает многие естественные процессы и взаимосвязи, что приводит к глубокому изменению всех звеньев естественных биоценозов.

Важнейшим компонентом экологических потерь, возникающих вследствие загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами, является сокращение продуктивности экологической системы. Загрязнения сырой нефтью и нефтепродуктами представляют большую опасность для нормального функционирования почв. Оно проявляется в изменении их физико-химических свойств, в торможении интенсивности биологических процессов, снижении растворимости большинства микроэлементов, резком увеличении соотношения между углеродом и азотом. Нефтяное загрязнение препятствует нормальному тепло- и газообмену почвы. При высоких дозах механические элементы и структурные агрегаты почвы покрываются нефтяной пленкой, которая изолирует питательные вещества от корневых систем растений. Почвенные частицы слипаются, а при старении и частичном окислении компонентов нефти последняя загустевает, и почвенный слой превращается в асфальтоподобную массу, которая совершенно не пригодна для роста растений. Происходит ухудшение структуры почвы, реакция почвенного раствора сдвигается в щелочную сторону, общее содержание углерода увеличивается в 2-10 раз, а количество углеводородов – в 10-100 раз [3, 4].

Техногенное засоление ландшафтов особенно опасно для территорий с промывным режимом увлажнения, то есть для северных природных зон. Их биота совершенно не адаптирована к воздействию солей, и разлитие ПМВ для нее представляет экологическую катастрофу.

Очистка почвы от солей может быть только в трех направлениях:



- вниз (промывание), перевод их в нерастворимое состояние (гипсование и др.);
- вверх.

В соответствии с вышеизложенным была составлена программа работ, включающая в себя ряд этапов:

- 1 подготовка схемы опытов;
- 2 подготовка ПМВ для экспериментов;
- 3 подбор и маркировка на местности подходящих экотопов и экспериментальных площадок;
- 4 геоботанические описания контрольных и экспериментальных участков до начала эксперимента;
- 5 разлитие ПМВ на экспериментальной площадке;
- 6 регулярные фитофенологические наблюдения за состоянием растений на контрольных и экспериментальных площадках;
- 7 взятие образцов почв для последующих анализов на контрольных и экспериментальных площадках;
- 8 взятие образцов дикорастущих растений с экспериментальных и контрольных площадок с целью исследования их фитомассы;
- 9 подбор ассортимента отвечающих необходимым требованиям галофитов;
- 10 сбор семян дикорастущих в Тюменской области галофитов;
- 11 посев семян галофитов на экспериментальные площадки;
- 12 периодическое взятие образцов почв и галофитов, последующий химический анализ;
- 13 разработка алгоритма рекультивации с выработкой практических рекомендаций и подачей заявки на патент.

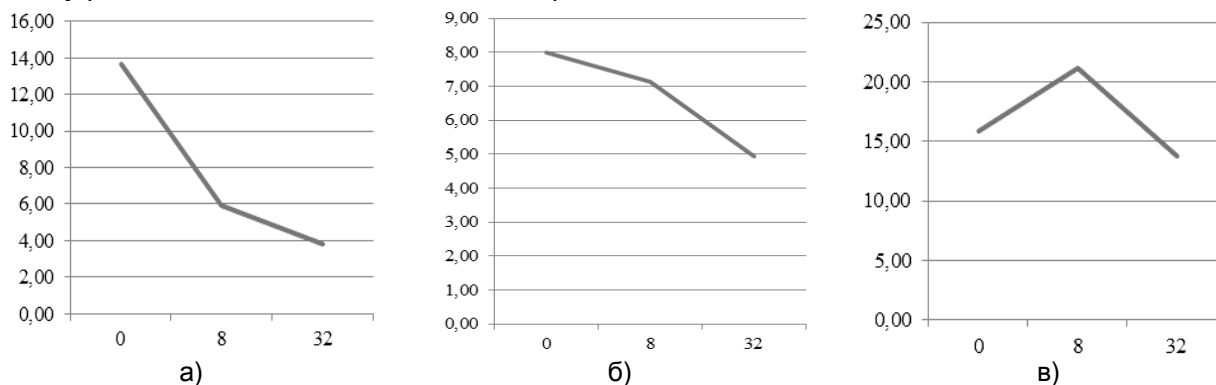
*Таблица – Усредненный ионный состав пластовых вод Самотлорского месторождения, мг/л*

№	CO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	I	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe общ.	NH <sub>4</sub>	Si
1	48,4	201	6,4	9160	6,7	882	25	4850	37,5	1,1	15,7	17,8
2	57,2	324	5,6	14365	9	1465	56	7188	62,3	4,16	28,4	17,6
3	74,5	507	2,65	14513	13,1	795	191	5350	64	10,09	28,2	11,6
4	35,2	180	4,5	7179	5,6	601	29	3475	24	0,66	10,5	10,9
5	54,27	138	2,2	11904	9,1	1027	66	6967	39	6,15	17,5	9,4
6	41,8	183	4,1	10630	14,4	785	72	6525	42	6,2	19,6	11,6
7	69,48	278	4,28	9539	8,33	675	75,5	5100	42,6	9,04	20,1	11,6
8	72,8	298	4,9	8549	5,5	614	68,4	4464	38,6	6,1	15,3	13
9	56,71	263,6	4,33	10729,9	8,97	855,5	72,87	5489,9	43,75	5,44	19,4	12,94

В соответствии с планом работ (п.8) получены показатели динамики сырой фитомассы дикорастущих растений в результате воздействия на фитоценозы ПМВ.

В ходе выполнения эксперимента были собраны дикорастущие растения с разных экспериментальных площадок, обработанных различными концентрациями ПМВ (0; 8; 32 л/м<sup>2</sup>) с 1 дм<sup>3</sup> с трехкратной повторностью. Затем пробы растений были взвешены в сыром виде.

Большие значения по массе у растений на контрольных участках (рисунок 1а и 1б), а также у растений на площадках с концентрацией ПМВ 8 л/м<sup>2</sup>.



*Рисунок 1 – Зависимость концентрации ПМВ, от общей фитомассы растений, г: а)-сосняк на склоне; б)-смешанный лес; в)-низинное болото*

Это можно объяснить тем, что растения, по-видимому, воспринимают ПМВ в небольших

концентрациях как удобрение (рисунок 1в).

При максимальных концентрациях (32 л/м<sup>2</sup>) масса растений на экспериментальных площадках резко снижается.

Вывод. Воздействие на травянистый ярус фитоценозов пластовых минерализованных вод высокой концентрации приводит к снижению сырой фитомассы дикорастущих растений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гатина, Е.Л. Техногенная трансформация видового разнообразия растительных сообществ в условиях нефтедобычи (на примере Пермского края): автореф. дис. ... канд. биол. наук / Е.Л. Гатина. -Пермь, 2010. -20 с.
- 2 Ильминских, Н.Г. Трансформация природного комплекса от существующих источников антропогенного воздействия на примере Бегешкинского месторождения нефти / Н.Г. Ильминских, Т.В. Саламатова // Нефтяное хоз-во: науч.-техн. и произв. журн. -1998. -№3. -С. 78-79.
- 3 Козловская, Н.В. Трансформация почвы и травяного покрова под влиянием пластовых минерализованных вод при нефтедобыче в условиях Удмуртии: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.В. Козловская. -Пермь, 2001. -15 с.
- 4 Саламатова, Т.В. Разработка мероприятий по повышению эффективности эксплуатации месторождений высоковязких и тяжелых нефтей с целью обеспечения промышленной и экологической безопасности (на примере ОАО «Удмуртнефть»): автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т.В. Саламатова. -Ижевск, 2002. -125 с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *рекультивация почвы, пластовые минерализованные воды, фитомасса*  
**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:** *Ильминских Николай Геннадьевич, докт. биол. наук, заведующий лабораторией ФГБУН ТХНС УрО РАН*  
*Иванова Алена Геннадьевна, аспирант ТГСПА им. Д.И. Менделеева, филиал ФГБОУ ВПО «ТюмГУ»*  
*Таратынов Дмитрий Валерьевич, аспирант ТГСПА им. Д.И. Менделеева, филиал ФГБОУ ВПО «ТюмГУ»*  
**ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** *626150, г.Тобольск, ул.Академика Осипова, 15, ФГБУН ТХНС УрО РАН*  
*626150, Тюменская область, г.Тобольск, ул.Знаменского, 58, ТГСПА им. Д.И. Менделеева, филиал ФГБОУ ВПО «ТюмГУ»*

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<b>Бунеев В.М.</b> ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА .....	3
<b>Вальков В.Е., Карпушин И.С.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В ПУНКТЫ С НЕОБОРУДОВАННЫМ ПОБЕРЕЖЬЕМ .....	6
<b>Никитенко Д.О.</b> МЕТОДИКА КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРКОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ РОССИИ .....	9
<b>Дерябина И.С.</b> ВЫБОР ПУНКТОВ НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ПОРОЖНИХ И ГРУЖЕНЫХ СУДОВ .....	12
<b>Исроилов Р.М.</b> КУЗНЕЦКИЙ УГОЛЬНЫЙ БАССЕЙН: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ УГЛЯ .....	16
<b>Абраменко А.Ю.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПНОГО РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ .....	18
<b>Щелетова В.Н., Почекаева О.В.</b> БУХГАЛТЕРСКИЙ УЧЕТ И ОТЧЕТНОСТЬ КАК ОСНОВА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДОХОДОВ И РАСХОДОВ ОРГАНИЗАЦИЙ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА .....	21
<b>Прудников А.А.</b> ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРЕННИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КЛЮЧЕВЫХ ХОЗЯЙСТВ ИНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСА КОМПАНИИ ОАО «РЖД» .....	28
<b>Фрейдман О.А.</b> АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНА КАК ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЛОГИСТИКИ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ ОПЕРАЦИЙ .....	31
<b>Степанова Е.С.</b> АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПЕРЕВОЗКИ ПассаЖИРОВ В ПРИГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ В НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ .....	34
<b>Глущенко И.А.</b> ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ ЭКСПЕРТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ОРГАНИЗАЦИИ .....	37
<b>Казанцева Л.С.</b> ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В СРОК ЗА СЧЕТ СОКРАЩЕНИЯ ЧИСЛА ПЕРЕРАБОТОК В ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ .....	39
<b>Дмитренко А.В., Казанцева Л.С.</b> УСТАНОВЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНОВ И ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ СБОРНЫХ ПОЕЗДОВ .....	43
<b>Кречетова К.А.</b> РЕГИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКАМИ: ОТ АДМИНИСТРАТИВНОЙ К ИНФОРМАЦИОННОЙ .....	46
<b>Островский А.М., Лисютин А.М.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РОСПУСКА ВАГОНОВ С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ С СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК .....	49
<b>Мятеж С.В., Жижкина И.Е., Дмитрушина Д.С.</b> ТРУБОПРОВОДНАЯ ПАССАЖИРСКАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА .....	52
<b>Аухадеев А.Э., Павлов П.П., Киснеева Л.Н., Соловьева А.П.</b> ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА СОВРЕМЕННОГО МЕГАПОЛИСА: БИОНИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ .....	56
<b>Мурзина О.А.</b> ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТЕПЕНИ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ ВЕДЕНИЯ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА В ТРАНСПОРТНОЙ КОРПОРАЦИИ .....	59
<b>Аршба Л.Н., Сапегин А.В.</b> РАЗВИТИЕ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПНОГО РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ .....	62
<b>Спицына И.Н., Абраменко А.Ю.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕТА ЗАТРАТ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА .....	65
<b>Ятчук К.В., Путилова Н.Н.</b> ИНСТРУМЕНТАРИЙ УЧЕТА ИНФЛЯЦИИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАСХОДОВ НА ТОПЛИВО В ТРАНСПОРТНЫХ КОМПАНИЯХ .....	68
<b>Королев В.А.</b> УНИФИКАЦИЯ УПРАВЛЕНИЙ В АГРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ .....	72
<b>ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО</b>	
<b>Шамова В.В., Волчатникова С.В.</b> СОЗДАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО БЛОКА ГИС ОБСКОГО БАССЕЙНА .....	76
<b>Бик Ю.И., Бройтман А.Ш.</b> ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ШПУНТА МЕТОДОМ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ .....	79
<b>Полянкин А.Г.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ .....	82
<b>Карамнов Е.И.</b> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНОК ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ, ИМЕЮЩИХ ДЕФЕКТЫ И ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ПОРТАХ .....	86

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Кочуров И.А.</b> ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРИЧАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СТЕН С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНЪЕКЦИОННЫХ АНКЕРОВ .....	89
<b>Чечулина Ю.А.</b> АНАЛИЗ ЗАНЯТОСТИ ПУТЕЙ ПАРКОВ СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПО РАСПИСАНИЮ .....	92
<b>Лапай А.Ю.</b> БЕЗОПАСНОСТЬ СУДОХОДСТВА НА р. ОБЬ НА УЧАСТКЕ НОВОСИБИРСКАЯ ГЭС – УСТЬЕ р. ТОМИ .....	95
<b>Приданова О.В.</b> НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ .....	98
<b>Попов А.М., Зиновьев В.Б., Шведов В.Н.</b> АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗОНЕ КОНТАКТА С НАГЕЛЯМИ КРЕСТООБРАЗНОГО СЕЧЕНИЯ .....	101
<b>Ивашкин С.В.</b> МЕТОДИКА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ПРОВОДАХ И ТРОСАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ .....	104
<b>Власов И.Л., Дёмин Ю.В., Иванов Г.В., Ивашкин С.В., Романов М.Н., Садовская Л.В., Хромов Е.Г.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОЙ НАГРУЗКИ В РЕЗИСТОРНЫХ НАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ .....	107
<b>Горелов В.П., Ситников Г.В., Кирюшкин В.Г., Кручинин М.А., Шушара П.Г.</b> ПОВРЕЖДЕНИЕ ОПОР КАК ВИД ОТКАЗОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ .....	110
<b>СУДОВОЖДЕНИЕ</b>	
<b>Готман А.Ш.</b> ВИХРЕВАЯ И ВОЛНОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ СУДНА И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ .....	116
<b>Борисова Л.Ф., Холодов Г.Г.</b> ПРОБЛЕМЫ БЕЗАВАРИЙНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ В АРКТИКЕ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ .....	122
<b>Калитёнков Н.В., Милкин В.И.</b> ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ И ВЕКТОР ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ РАДИОВОЛНЫ .....	126
<b>Меньшиков В.И., Житняк М.С., Блажеев А.Ю.</b> МИНИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СОСТОЯНИЕМ БЕЗОПАСНОСТИ СУДНА .....	129
<b>Меньшиков В.И., Кулезнёв И.А., Блажеев А.Ю.</b> ПОБУЖДЕНИЕ К РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПА «ЧТО ВИЖУ, ТО ДОКЛАДЫВАЮ» У «ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ» В СУДОВОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ .....	132
<b>Деева В.С., Слободян С.М.</b> «УМНЫЙ» СТВОР ЛАЗЕРНОЙ НАВИГАЦИИ .....	134
<b>Маликова Т.Е.</b> ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СМЕЩАЮЩИХСЯ ГРУЗОВ С ДИСКРЕТНОЙ БЕЗРАСПОРНОЙ СТРУКТУРОЙ .....	138
<b>Потугаровский А.И.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА МОРЕ ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ КОРПУСА СУДНА .....	140
<b>Кац В.А., Комаровский Ю.А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО GNSS-ПРИЁМНИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ СУДОВЫМ GPS-ПРИЁМНИКОМ .....	146
<b>Калитёнков Н.В., Милкин В.И., Лебедев В.А., Шульженко А.Е.</b> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК НА БАЗЕ Z-СТРУКТУР .....	150
<b>Комаровский Ю.А.</b> АЛГОРИТМЫ РАСЧЁТА РАДИУСА УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЦИРКУЛЯЦИИ СУДНА С ПОМОЩЬЮ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ ПРЯМЫХ .....	153
<b>Развозов С.Ю., Куличихин М.И.</b> ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ПОДГОТОВКА ОПЕРАТОРОВ СИСТЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ .....	156
<b>Арцыман С.М., Борисов Ю.А.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНЫХ СРЕДСТВ АВИАЦИОННОГО И РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВЕРТОЛЁТОВ СЕМЕЙСТВА МИ-8 С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	160
<b>Павленко Р.И.</b> СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ .....	164
<b>ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Фомичев П.А., Фомичева Е.В.</b> КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР .....	167
<b>Куколев М.И., Кукис В.С., Вильдяева С.Н.</b> ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕЛОВОГО НАКОПИТЕЛЯ .....	169
<b>Гурова Е.Г., Макаров С.В., Сергеев А.А., Петушкова А.Д., Азизов В.С., Колинченко А.О., Дымов И.С.</b> К РАЗРАБОТКЕ ВИБРОИЗОЛЯТОРА С КОМПЕНСАТОРОМ ЖЕСТКОСТИ НА ОСНОВЕ СУПЕРМАГНИТОВ .....	172
<b>Фомичев П.А., Фомичева Е.В.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕКТРА СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ПОДВЕСКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВАРЬИРОВАНИЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЖЕСТКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ .....	174

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Макаров С.В., Гурова Е.Г., Мятёж А.В., Бахвалова А.В., Филатова О.А.</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЗАПУСКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ	177
<b>Шувалов Г.В., Половинкин В.Н., Клековкин И.В., Ясырова О.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛИЗАТОРА СЕРЫ В НЕФТЕПРОДУКТАХ СИМ-6	181
<b>Шувалов Г.В., Половинкин В.Н., Ильин А.П., Тихонов Д.В., Клековкин И.В., Ясырова О.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА С ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ	184
<b>Пушнин В.П., Заонегин Д.О.</b> ИЗМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ДИЗЕЛЬНОЙ САЖИ ПРИ ЗАМЕНЕ СОРТА ТОПЛИВА И ВВЕДЕНИИ ПРИСАДОК	187
<b>А.К. Зуев, А.А. Зуев</b> УРАВНОВЕШИВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	190
<b>Глушков С.П., Лебедев О.Б.</b> ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ	191
<b>Викулов С.В.</b> ВИБРОДИАГНОСТИКА ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПО ПАРАМЕТРАМ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ	194
<b>Шапошников Ю.А.</b> СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	198
<b>Глушков С.С., Лебедев Б.О., Коновалов В.В., Ткаленко Н.С.</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОДШИПНИКОВ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ	200
<b>Коновалов В.В., Сибриков Д.А.</b> ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНОГО МАСЛА НА УТЕЧКУ РАБОЧЕГО ТЕЛА ИЗ ЦИЛИНДРА ДИЗЕЛЯ	204
<b>Адеев А.А.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА	206
<b>Шувалов Г.В., Половинкин В.Н., Ильин А.П., Тихонов Д.В., Клековкин И.В., Ясырова О.А.</b> ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ	210
<b>Горелов С.В., Манчук Р.В., Манчук Г.Р., Коновалов В.В., Ситников Г.В., Солнцев Г.Е.</b> ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ	213
<b>ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Денчик Ю.М.</b> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНДУКТИВНОЙ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОМЕХИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ	218
<b>Попова Е.Ю., Мочалин К.С., Ситников Г.В.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМАХ ВЫБОРА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	221
<b>Денчик Ю.М., Сальников В.Г., Ситников Г.В., Гноевой А.В.</b> ПОТЕРИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ И НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ НАПРЯЖЕНИЯ	223
<b>Барков Д.А., Денчик Ю.М., Иванова Е.В., Ситников Г.В.</b> УСЛОВИЕ НОРМИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЕЁ ТРАНСПОРТ	227
<b>Смоленцев М.В., Львов Е.В., Боровицкий В.Г., Арбузов Р.С., Овсянников А.Г.</b> ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ОТКЛЮЧЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 220 кВ В ЮЖНОМ ЗАБАЙКАЛЬЕ	229
<b>Денчик Ю.М., Иванов М.Н.</b> КОНДУКТИВНЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИЕСЯ ПО ПРОВОДАМ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ	234
<b>Князев О.А., Солнцев Г.Е., Смыков Ю.Н., Васильев В.М., Корнеев К.В., Чирке В.Э., Шарипов А.М.</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЗКООБОРОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	238
<b>Елшин А.И., Прудников С.С.</b> ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИНДУКТИВНО-КОНДУКТИВНЫЙ НАГРЕВАТЕЛЬ	243
<b>Елшин А.И., Ефимов Н.К., Солнцев Г.Е., Солодская В.В.</b> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)	245
<b>Черкасова Н.И.</b> МЕТОДИКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 10-0,4 кВ	248
<b>Муравлёв О.П., Клабуков Р.П.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СОПРЯЖЕНИЯ КОНФОРМНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ПРИ РАСЧЁТЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ	253
<b>Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Костина И.И.</b> ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ	256
<b>Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Дмитриенко Д.Ю.</b> ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЯВЛЕНИЯ ВЫНУЖДЕННЫХ ОСТАНОВОК ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СО СТРУКТУРНОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ	260

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Баринаева Е.А., Стрельникова Д.М., Вильбергер М.Е., Мятёж А.В.</b> РАБОТА ДВЕНАДЦАТИПУЛЬСНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ НЕСИММЕТРИИ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ПИТАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ .....	264
<b>Черемисин В.Т., Комяков А.А., Коломеев О.А.</b> МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ .....	268
<b>Кабалык Ю.С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВЗОВ, ОБОРУДОВАННЫХ КОМПЕНСАТОРАМИ ИСКАЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ .....	271
<b>Слободян С.М.</b> ИНДИКАТИВНЫЙ ПОДХОД ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ.....	274
<b>Марченко М.А., Симаков Г.М.</b> ПОСТРОЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА РАЗРЕЖЕНИЯ В ТОПКЕ КОТЛОАГРЕГАТА С УПРАВЛЯЕМЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	278
<b>Тарасов Е.В.</b> ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ТОКА В ДВУХСТУПЕНЧАТОМ ВЗРЫВНОМ РАЗМЫКАТЕЛЕ.....	281
<b>Шпиганович А.Н., Шарапов Н.А.</b> АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МАЛОМОЩНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	284
<b>Ступаков С.А., Филиппов В.М., Калинина Е.С.</b> МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА .....	287
<b>Иванов В.В., Мятёж С.В.</b> АНАЛИЗ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗОННЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ.....	291
<b>Манусов В.З., Бойко К.Н.</b> ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ .....	294
<b>Власов И.Л., Дёмин Ю.В., Иванов Г.В., Ивашкин С.В., Романов М.Н., Садовская Л.В., Хромов Е.Г.</b> РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ ПО ВЫБОРУ ТОКА ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО НАГРЕВА ПРОВОДОВ И ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	297
<b>Жантлесева А.Б.</b> СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТОКА С ПОМОЩЬЮ НЕСКОЛЬКИХ ГЕРКОНОВ.....	301
<b>Гунгер Ю.Р., Дёмин Ю.В., Зуйков В.В., Ивашкин С.В., Лесных А.С., Лесных В.Г., Плотников Д.Н., Романов М.Н.</b> ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ .....	303
<b>Авилов В.Д., Москалев Ю.В.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОВАЗА ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	306
<b>Лангеман Э.Г., Калугин М.В.</b> АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МЕТРОПОЛИТЕНА .....	310
<b>Калугин М.В., Яковлева К.Е., Лангеман Э.Г.</b> ПРИЧИНЫ ПОВЫШЕННОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА МЕТРОПОЛИТЕНЕ .....	314
<b>Рогова О.В.</b> СРАВНЕНИЕ ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ДВУХСТОРОННЕЙ ЗУБЧАТОСТЬЮ ЯКОРЯ.....	317
<b>Однокопылов Г.И., Брагин А.Д.</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕПОЛНОФАЗНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ПОЛЕМ .....	320
<b>Шадрина Н.О., Розум Т.И., Полищук В.И.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЯХ В ОБМОТКЕ РОТОРА.....	323
<b>Однокопылов Г.И., Брагин А.Д.</b> ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ .....	327
<b>Однокопылов Г.И., Брагин А.Д.</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ.....	330
<b>Шеповалова О.В., Чирков В.Г., Сибирина Г.В.</b> СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ЗДАНИЙ .....	333
<b>Гусаров В.А., Цимбалюк В.В.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ДИЗЕЛЬНОГО РЕЗЕРВА .....	337
<b>Хрущев Ю.В., Токарев И.С., Кладько А.А.</b> ПОСТРОЕНИЕ РЕЖИМНЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО СИСТЕМЕ ИСХОДНЫХ УРАВНЕНИЙ .....	340
<b>Калитёнков Н.В., Милкин В.И., Лебедев В.А., Шульженко А.Е.</b> АДАПТАЦИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ТОЧЕК ДОСТУПА К МЕСТУ ИХ УСТАНОВКИ .....	344
<b>Калитёнков Н.В., Милкин В.И., Лебедев В.А., Шульженко А.Е.</b> АНТЕННЫЙ АДАПТЕР-ТРАНСФОРМЕР .....	346
<b>Столярова О.О., Калинин Д.Ю.</b> ВЕНТИЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ПРИВОДА ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВОГО РАДАРА .....	348

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### ЭКОЛОГИЯ

<b>Турбинский В.В., Хмелев В.А., Щербатов А.Ф., Отрощенко В.А.</b> РИСК ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ г.НОВОСИБИРСКА ОТ ДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВО ВРЕМЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ В 2012 ГОДУ.....	353
<b>Турбинский В.В., Хмелев В.А.</b> САНИТАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	356
<b>Ильминских Н.Г., Иванова А.Г., Таратынов Д.В.</b> ДИНАМИКА ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД .....	362

## УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №1-2 журнала за 2014 год. Материалы (заявку, статью, рецензию) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: [konovarov@nsawt.ru](mailto:konovarov@nsawt.ru). Оригиналы по почте на адрес Академии с пометкой для Коновалова В.В. Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 25 апреля 2014 г.

### Заявка на публикацию научной статьи в №1-2 журнала за 2014 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). ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» а также на интернет-странице по адресу: <http://www.nsawt.ru> в разделе «Издательство». Для аспирантов очного отделения публикация материалов в журнале – бесплатно, в порядке очередности и актуальности.





### **К 75-летию САЛЬНИКОВА Василия Герасимовича**

Сальников Василий Герасимович родился 9 ноября 1938 г. в с. Секисовка Верх-Убинского района Казахской ССР, в семье крестьянина, русский.

Окончил с серебряной медалью Секисовскую среднюю школу, а в 1960 г. Томский политехнический институт им. С.М. Кирова по специальности «Электрификация промышленных предприятий».

Трудовую деятельность начал в электроэнергетике металлургической промышленности. На Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате им. В.И. Ленина принимал непосредственное участие в разработке и осуществлении проекта пуска комплексной нагрузки и самозапуска мощных высоковольтных электродвигателей свинцового завода от Усть-Каменогорской ТЭЦ ОАО «Алтайэнерго». В 1963-1964 гг. был признан «Лучшим рационализатором УКСЦК им. В.И. Ленина». С 1969 года главный специалист по электроэнергетике Павлодарского алюминиевого завода.

В 1972 г. защитил в диссертационном совете при Московском энергетическом институте (МЭИ) кандидатскую диссертацию по проблеме повышения надежности электроснабжения непрерывных производств цветной металлургии.

В связи с интенсивным развитием Павлодар-Экибастузского топливно-энергетического комплекса и нехваткой квалифицированных специалистов был привлечён к подготовке инженеров-электриков в Павлодарском Прииртышье. Избирался заведующим кафедрой «Электрические станции и автоматизация энергосистем» и деканом энергетического факультета Павлодарского государственного университета

В 1986 г. защитил в диссертационном совете при МЭИ докторскую диссертацию по электромагнитной совместимости мощной нелинейной нагрузки в электроэнергетической системе. С 1990 г. – советник президента ОАО «Павлодарэнерго», с 1991 г. внештатный советник по энергетике аппарата Акима Павлодарской области Казахстана, директор Павлодарского филиала Восточного отделения национальной академии наук Казахстана, с 1992 года председатель диссертационного совета КО 14.29.17 при ПГУ и член объединённого диссертационного совета Казахстана ДО 14.02.01 при Алматинском институте энергетики и связи по защите кандидатских и докторских диссертаций по электроэнергетическим специальностям. Имеет нагрудный знак «За заслуги в развитии науки Республики Казахстан».

В 1997 году избран по конкурсу профессором кафедры «Электроэнергетические системы и электротехника» ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта». Выполняет большую научную работу, является научным руководителем «Постоянно действующего научно-технического семинара по специальности «Электростанции и электроэнергетические системы», им подготовлено 26 специалистов.

Сальников Василий Герасимович, доктор технических наук, профессор, действительный член Международной академии наук и искусств, заместитель председателя диссертационного совета Д 223.008.01 при ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» по защите докторских и кандидатских диссертаций.

Известный электроэнергетик и крупный ученый в области промышленного электроснабжения и электромагнитной совместимости технических средств в электроэнергетических системах В.Г. Сальников внёс большой вклад в электрификацию удаленных регионов, развивающихся на основе освоения полезных ископаемых на крупных металлургических комплексах с мощными искажающими нагрузками. Под его научным руководством решена крупная научно-техническая проблема по созданию эффективных систем электроснабжения крупных металлургических объединений (шифр 0.01.11), утверждённая совместным Постановлением ГКНТ и Госпланом СССР №526/260 (1980 г.). Разработал «Руководство по выбору структуры и параметров системы электроснабжения предприятия с мощными сериями электролизеров цветных металлов» (Москва: Металлургия, 1985 г.), которое утверждено Министерством цветной металлургии СССР как директивный документ. В 1997-1980 гг. был главным экспертом по электроэнергетике этого министерства по строящемуся Николаевскому глиноземному заводу (Украина) и членом комиссии по отбору и оценке эффективности электрооборудования для отрасли, закупаемого за рубежом. В 1993-1996 гг. был заместителем руководителя (первого заместителя Акима Павлодарской области) рабочей группы по разработке и содействию выполнения «Павлодарской областной целевой программы энергосбережения на 1994-1996 гг. и до 2000 г.» и сопредседателем «Научно-технического промышленного совета по Павлодарской области».

Сальников В.Г. разработал теорию кондуктивных электромагнитных помех в электроэнергетических системах, распространяющихся по сетям. Создал методологию обеспечения электромагнитной совместимости технических средств на основе единства производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии путём подавления кондуктивных электромагнитных помех.

Имеет более 160 научных работ и изобретений, в том числе 8 монографий и 2 справочника. Награжден 3 медалями и многими знаками отличия.

Коллеги по работе и деятели в общественных и научных организациях поздравляет Василия Герасимовича с юбилеем и желают ему здоровья, удачи и дальнейших творческих успехов в развитии энергетики страны и решении проблем флота!

В настоящее время Сальников В.Г. является активным членом редакционного совета журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», который присоединяется к этим поздравлениям и надеется на продолжение плодотворного сотрудничества.

*Редакционная коллегия*

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ  
Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.

Подписано в печать 24.12.2013 г. с оригинал-макета  
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.  
Усл. печ. л. 43,1; тираж 1050 экз. Заказ №  
Цена договорная.

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»  
(ФБОУ ВПО «НГАВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68,  
факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-22440 выдано 20.12.2005 г.

ISSN 2071-3827

Подписной почтовый индекс 62390