

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Международная ассоциация транспортных университетов стран
Азиатско-Тихоокеанского региона (МАТУ АТР)
Омский государственный университет путей сообщения



Материалы третьей международной
научно-практической конференции

«РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ И НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА»



Россия, Омск
2018

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта

ОАО «Российские железные дороги»

Международная ассоциация транспортных университетов стран
Азиатско-Тихоокеанского региона (МАТУ АТР)

Омский государственный университет путей сообщения



РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ И НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

Материалы третьей международной
научно-практической конференции

(6 декабря 2018 г.)

Омск 2018

УДК 621.002; 629.113.4
ББК 31.2

Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта: Материалы третьей международной научно-практической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2018. 335 с.

В материалах конференции рассмотрены прорывные технологии разработки и эффективной эксплуатации электротехнических комплексов и систем энергетики, системы мониторинга и управления энергоэффективностью наземного транспорта, системы энергообеспечения, основные положения политики энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Представлены результаты исследований по энергетической эффективности железных дорог, технологии вождения поездов повышенной массы, оценки энергетической эффективности устройств и систем, способам повышения качества электрической энергии.

Представленные в сборнике материалы могут быть использованы при модернизации существующих и создании новых типов электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта, совершенствовании процессов их эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Материалы конференции могут быть полезны для научных сотрудников и специалистов, работающих в области повышения эффективности функционирования основного и вспомогательного оборудования электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта, аспирантам и студентам высших учебных заведений.

Материалы публикуются в авторской редакции.

Библиогр.: 301 назв. Табл. 21. Рис. 118.

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, профессор В. Т. Черемисин (отв. редактор);
доктор техн. наук, профессор В. В. Харламов;
доктор техн. наук, профессор А. А. Кузнецов;
доктор техн. наук, профессор О. А. Сидоров
доктор техн. наук, доцент С. Г. Шантаренко (зам. отв. редактора).

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор,
засл. деятель науки РФ В. А. Аксенов;
доктор техн. наук, профессор Ю. А. Давыдов.

ISBN 978-5-949-41221-3

© Омский гос. университет
путей сообщения, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

Бутенко Е. А., Смердин А. Н. Перспективные методы исследования системы токосъём.....	6
Кондратьев Ю. В., Незевак В. Л., Эрбес В. В. Концепция развития цифровой тяговой подстанции.....	13
Ковалев А. А., Крапивин Н. В. Повышение надежности объектов инфраструктурного комплекса системы токосъёма	21
Кандаев В. А., Литвинова О. В. Переходное сопротивление в местах повреждения полимерного изолирующего покрытия кабеля	27
Харламов В. В., Попов Д. И., Стретенцев А. И. Алгоритм цифровой обработки диагностического сигнала при оценке состояния коммутации коллекторных тяговых двигателей	35
Кузнецова М. А. Исследование качества функционирования высоковольтных трансформаторов методами акустического контроля и газовой хроматографии	41
Никонов А. В., Эрбес В. В. Возможности совершенствования алгоритма управления регулируемых устройств компенсации реактивной мощности	47
Кузнецов А. А., Григоришин К. Е. Акустико-эмиссионный контроль изоляции высоковольтного оборудования	52
Еркебаев А. Ж. Анализ методов оценки эффективности использования электроэнергии на нетяговые нужды железнодорожного транспорта	59
Присухина И. В., Борисенко Д. В., Лунёв С. А. К вопросу о классификации режима работы рельсовой цепи с применением ортогональных многочленов эрмита	67
Иванов В. С., Баринов И. А. Проблема выбора конструкции IGBT-транзисторов в качестве силовой элементной базы на отечественном электроподвижном составе	77
Мельникова С. Ю. Разработка высокоэффективных систем управления качеством электрической энергии на основе IT технологий в электрических сетях	83
Суллиев А. Х. Бипараметрический авторезонансный датчик перемещения	87
Паранин А. В., Батрашов А. Б. Тепловой расчет контактной подвески постоянного тока с целью выявления мест локального перегрева при тепловизионной диагностике	93
Баратов Д. Х., Арипов Н. М. Разработка системы учета и контроля электротехнических комплексов железнодорожной автоматики и телемеханики	101
Жураева К. К., Файзуллаев Ж. С. Электромагнитные датчики усилий и тока для функциональной диагностики электрооборудования	108
Ивановцева Н. В., Тынышкалиев Ж. С. О возможности повышения энергоэффективности системы отопления пассажирских вагонов	115
Сотникова С. М. Анализ известных устройств для измерения контактного нажатия между ползком токоприемника и контактными проводами	120
Литвиненко Р. С., Ферапонтова М. В., Литвиненко А. Р. Подход к оценке пропускной способности городской электротранспортной системы с учетом надежности	126
Харламов В. В., Попов Д. И., Руменко С. О. Испытательный комплекс, реализующий алгоритм эффективного управления процессом нагружения асинхронного двигателя	134

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ НАЗЕМНОГО
ТРАНСПОРТА И СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ**

Баева И. А. Алгоритм расчета системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ при введении устройств регулирования напряжения	139
Иванов П. Ю., Хамнаева А. А., Худонов А. М. Снижение энергопотребления электровоза при управлении пневматическими тормозами грузового поезда	143
Шилер В. В., Шилер А. В. Эффективность подвижного состава с блочной конструкцией колесной пары	152
Мануилов Н. И. Совершенствование методов и средств диагностики тормозной сети поезда	154
Доманов К. И. Разработка методики факторного анализа энергоэффективности эксплуатации двухсистемных грузовых электровозов на участках, имеющих станции стыкования (на примере среднесибирского хода)	163
Панов К. В. Использование AnyLogic для расчета производственных потерь при ремонте электровозов	169
Плотников Ю. В. Прибор учета электроэнергии подвижного состава с возможностью мониторинга участков железной дороги с повышенным удельным расходом электроэнергии на тягу поездов	176
Саркенов С. С. Оценка влияния нормообразующих факторов на расход и потери электроэнергии в тяговой сети в условиях интервальной организации движения тяжеловесных поездов	183
Салита Е. Ю., Ковалева Т. В., Комякова Т. В. Повышение технико-экономических показателей многопульсовых преобразователей системы тягового электроснабжения постоянного тока	191
Абляимов О. С. К использованию электровозов ЗВЛ80С на участке Каттакурган – Навои Узбекской железной дороги	198
Абляимов О. С. Тяговые качества профиля пути железнодорожного участка Каттакурган – Навои при дизельной тяге	205
Абляимов О. С. Оценка тягового качества профиля пути участка Каттакурган – Навои при электрической тяге	211
Абляимов О. С. К использованию тепловозов UzTE16M3 на участке Каттакурган – Навои АО «Ўзбекистон Темир Йўллари»	218
Баринов И. А., Иванов В. С. Использование силовых IGBT-транзисторов для высокоэффективного выпрямления и инвертирования электрической энергии на электроподвижном составе	224
Баянов И. Н., Турдибеков К. Х., Бадретдинов Т. Н. Методика расчета электрического поля скользящей пары высокоскоростного электроподвижного состава с учетом образования электрической дуги	231
Дульский Е. Ю., Лобыцин И. О., Худонов А. М. Терморadiационное восстановление малогабаритных изоляционных элементов тяговых электродвигателей локомотивов	236

Кудратов Ш. И. Совершенствование системы контроля технического состояния дизеля в эксплуатации	244
Шатохин А. П., Максименко Р. М. Автоведение поездов – путь к энергоэффективности	250
Истомин С. Г. Анализ методов и средств контроля и управления потреблением электроэнергии вспомогательным оборудованием электроподвижного состава постоянного тока	257
Осяев А. Т., Фокин С. В. Функциональная модель системы мониторинга технического состояния для специального подвижного состава.....	266
Хисматулин М. И., Ергашев З. З., Сотволдиев А. Р. Тяговые качества профиля пути участка Мароканд – Каттакурган при электрической тяге	273
Лаврухин А. А., Плотников Ю. В., Пономарев Е. В. Экспериментальные исследования блока измерений прибора учета на электровозе постоянного тока	280
Черемисин В. Т., Третьяков Е. А., Головнев Г. Е. Эффективность замкнутых схем электроснабжения стационарных потребителей с управляемыми FACTS в интеллектуальной электроэнергетической системе железных дорог	287
Тарасовский Т. С. Расчет напряжений первичной обмотки преобразовательного трансформатора с тиристорно-реакторным переключающим устройством при пофазном регулировании напряжения	293
Кандаев В. А., Авдеева К. В., Уткина А. В. Анализ влияния блуждающих токов электрифицированного железнодорожного транспорта постоянного тока на подземные транспортные сооружения	297
Сидоров О. А., Орлов А. А., Слатин А. И., Михайлов М. С. Пути повышения надежности токосъема при высоких скоростях движения	306
Худоногов А. М., Дульский Е. Ю., Иванов П. Ю. Зональные особенности распределения эксплуатационной надежности предельно нагруженного оборудования электровозов	313
А. Энх-Амгалан Основные положения согласования системы внешнего и тягового электроснабжения при электрификации улан-баторской железной дороги	318
Бакланов А. А., Доманов К. И. Тягово-энергетические показатели перспективного электроподвижного состава в условиях повышения массы и скорости движения поездов ..	327

ПРОРЫВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

УДК 621.336.2

Е. А. Бутенко, А. Н. Смердин

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТОКОСЪЕМА

В статье предложены методы исследования системы токосъема, которые позволяют проводить измерения теплового режима токоприемника, скорости распространения волны в контактной подвеске.

Ключевые слова: исследовательский комплекс, система токосъема, методы исследования, стенды испытания.

Elena. A. Butenko, Alexandr. N. Smerdin

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

ADVANCED RESEARCH METHODS OF THE CURRENT COLLECTION SYSTEMS

The article proposed methods for studying the current collection system, which allow measuring the thermal mode of the current collector, and the speed of wave propagation in the contact suspension.

Keywords: research complex, current collection system, research methods, test benches.

На базе кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПС создан исследовательский комплекс, который позволяет проводить испытания всех видов токоприемников и основных узлов контактных подвесок. Исследовательский комплекс состоит из физической модели токоприемников, контактной сети и устройств имитации внешних воздействий, таких как тяговый ток, набегающий поток воздуха, колебания подвижного состава и ряд других (рис. 1).

Образцы современной железнодорожной техники отечественных и зарубежных производителей проходят испытания в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации (рис.2). Токоприемники испытываются в ходе нагрузочных испытаний током до 4500 А, при этом

скользящий контакт распределен в соответствии с нормативным зигзагом по рабочей поверхности полозов. Набегающий поток воздуха со скоростью от 40 до 160 км/ч позволяет воссоздать требуемый режим охлаждения. Ударные воздействия и электродуговые повреждения также являются объектами внимания лаборатории.

Таблица 1

Набор факторов влияющих на магистральные токоприемники, реализованных в лабораторном комплексе

Влияющие факторы	Единица измерения	Диапазон измерения
Токовая нагрузка	А	4500
Удары о препятствия	кг·м/с	9,8
Стрелы провеса	мм	50
Расположение в плане пути	м	0,3
Количество контактных проводов	шт	1-2
Колебания основания	мм	5-25
Охлаждение набегающим потоком воздуха	м/с	0-45



Рис. 1. Стенды для испытания магистральных токоприемников

В ходе испытаний получаемые термограммы (рис. 3), анализируются с помощью разработанного программного обеспечения и позволяют по ускоренному методу получить постоянную времени нагрева, температуру, параметры теплоотдачи. Таким образом, удастся сократить время исследовательских испытаний более чем в два раза.

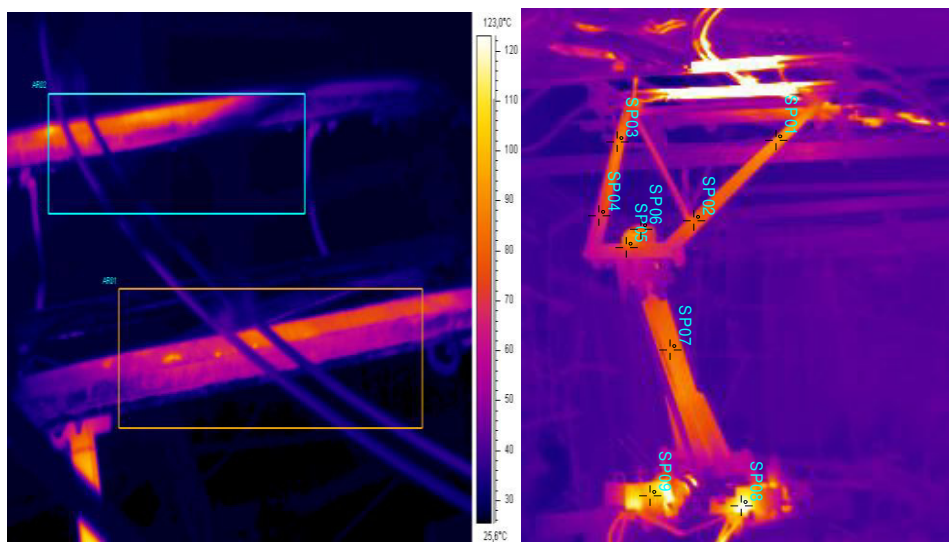


а)



б)

Рис. 2. Динамические испытания токоприемника:
а) на кольцевом стенде; б) на колебательном стенде



а)

б)

Рис. 3. Исследование тепловых режимов токоприемника на кольцевом стенде

В отличие от токоприемника контактную сеть нельзя симитировать в лаборатории, так как особенности контактной сети проявляются только при адекватном сочетаний вертикальных и горизонтальных размеров, собственные жесткости и массы контактных проводов и несущих тросов, а также при создании номинальных натяжений.

В настоящее время актуальным является исследования посвященные определению волновых характеристик системы токосъема, а также частоты и амплитуды затухающих колебаний в контактной подвеске после прохода токоприемника. Во время проведения эксперимента появляется возможность

определить скорость распространения механических колебаний. При каждом проходе электроподвижного состава в контактной сети формируются волны, движущиеся впереди. Для проведения измерений установить видеокамеру, таким образом, чтобы в поле зрения отчетливо попадал проходящий токоприемник (рис. 4).

Видеоизмерительный пост устанавливается от сопряжения анкерных участков на расстоянии L (180 м), чтобы при заходе электроподвижного состава (ЭПС) на анкерный участок, поперечная волна, вызываемая токоприемником, достигала поля зрения камеры через время T .

Видеокамера настраивается так, чтобы измерительный пролет l полностью занимал поле зрения камеры. Зная длину измерительного пролета и измерив время затраченное на его прохождение t , определяем скорость проходящего ЭПС, а зафиксировав момент начала колебаний можно определить время на которое фронт волны обогнал токоприемник. Благодаря видеорегистратору можно получить скорость распространения поперечной волны вдоль контактной подвески. Скорость распространения волны позволяет уточнить максимальную скорость, при которой токосъем может осуществляться без нарушений [1,2].

$$\frac{L}{t_x} = \frac{L}{\left(\frac{l}{t} + T\right)} = C_{эскп} \quad (1)$$

Запаздывание токоприемника после появления фронта волны регистрируется, после чего информация обрабатывается. Полученную скорость распространения волны экспериментально можно сравнить с расчетным значением:

$$C_p = \sqrt{\frac{H_F + H_T}{m'_F + m'_T}}, \quad (2)$$

где H_F - натяжение контактного провода, Н;

H_T - натяжение несущего троса, Н;

m'_F - погонная масса контактного провода, кг/м;

m'_T – погонная масса несущего троса, кг/м.

Система мониторинга играет одну из важнейших ролей при увеличении скорости движения (рис. 5). Полученные данные в ходе мониторинга, массив закладывается в расчетную модель. В результате чего появляется возможность обнаружить выпадение гололеда, осуществляется мониторинг износа контактного провода, а также несоответствие натяжению в проводах номинального значения.

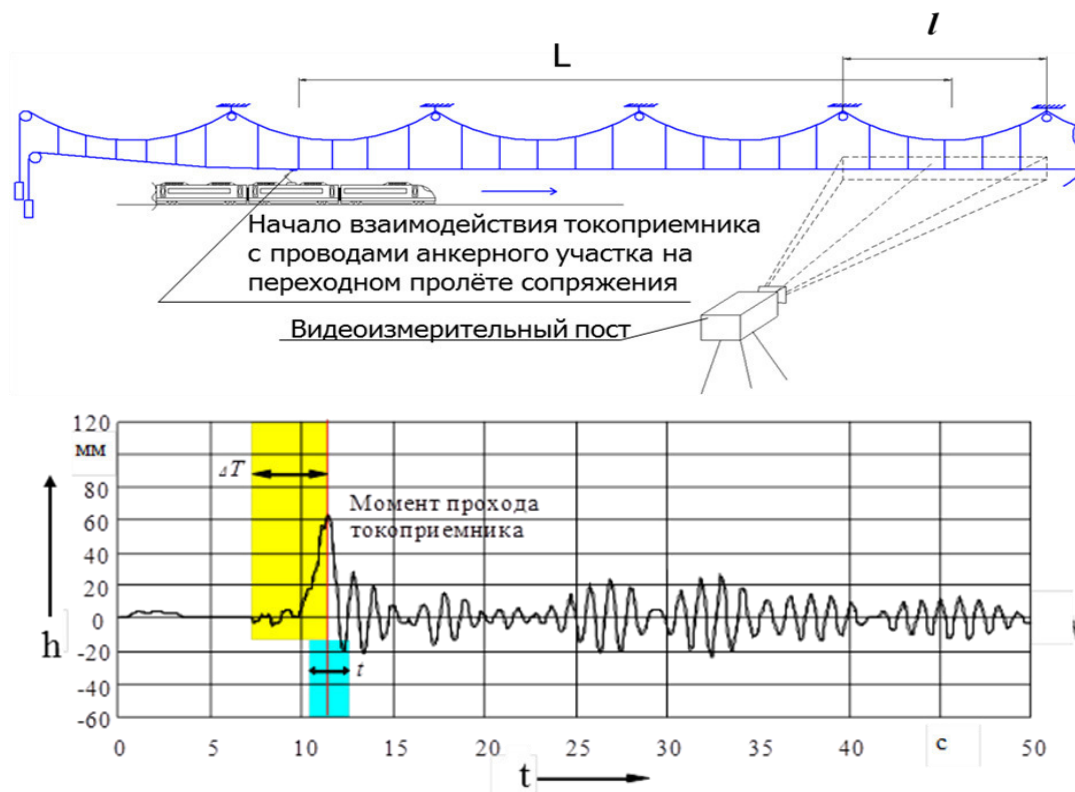


Рис. 4 . Определение скорости распространения волны в контактной подвеске

Такие системы в режиме реального времени установлены вдоль всего скоростного участка, позволяющие отслеживать ряд основных и косвенных параметров, показателей и характеристик, сравнивают их с расчетными значениями и статистическими данными. При достижении какой-либо из контролируемых величин порогового значения, срабатывает сигнализация, оповещение отправляется по каналам связи на рабочее место оператора [3].

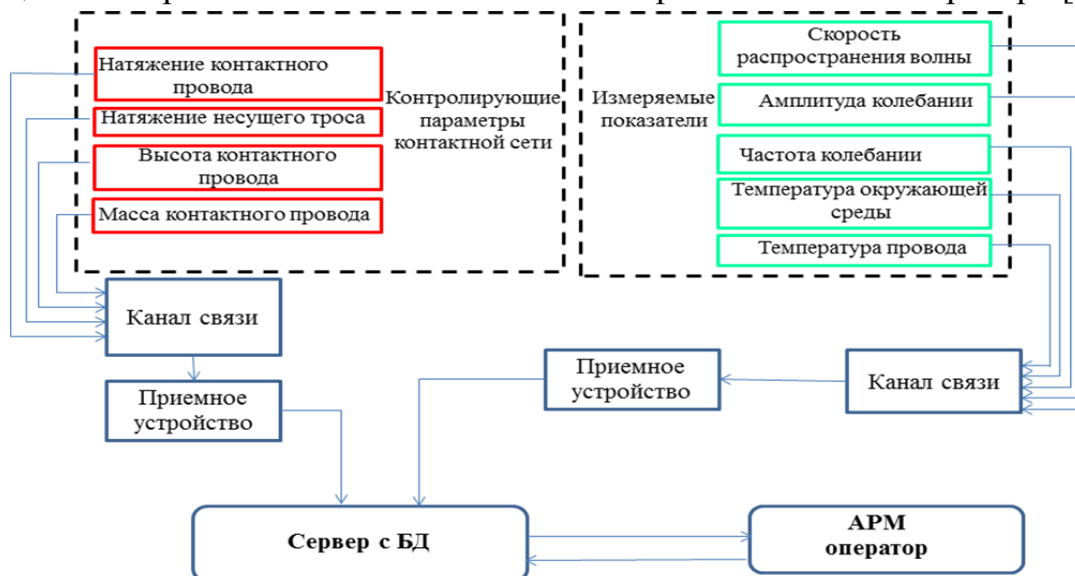


Рис. 5. Структурная блок-схема встроенных диагностических устройств

В дальнейшем предполагается информационное взаимодействие системы испытательного комплекса с единой корпоративной системой управления информацией (рис. 6). Предлагаемая система мониторинга позволит вывести на новый уровень готовность инфраструктуры для пропуска скоростных и тяжеловесных поездов. Появится возможность в реальном времени определить предельные режимы и рекомендуемые уровни тяговой нагрузки (по температуре и скорости движения, по натяжению) [4].



Рис. 6. Функциональная модель процессов текущего содержания объектов инфраструктуры ОАО «РЖД»

Благодаря предложенному методу не только повысится эффективность работы железнодорожного транспорта, но и появится возможность уточнить прогнозные модели на основе поступающих сведений о нарушениях в работе системы токосъема, позволит избежать нерациональных расходов и повысить безопасность движение поездов.

Список литературы

1. Смердин, А. Н. Совершенствование методики исследования волновых процессов в контактной подвеске на основе конечной элементной модели / А. Н. Смердин, А. С. Голубков, В. А. Жданов // Известия трансба. – 2011 – №1 (5). – С. 30-37.
2. Abochi, M. Analyses contact force fluctuation between catenary and pantograph / M. Abochi, K. Manabe// QR of RTRI – 2000- №4 (41) – P. 182- 187.
3. Совершенствование методики поучастковой оценки инфраструктуры системы токосъема на скоростном полигоне Угловка-Мстинский мост / В. М Павлов [и др.] / Сборник: Токосъем и тяговое электроснабжение при высокоскоростном движении на постоянном токе. – Москва, 2010. – С.172-180.
4. N. Petter A wireless railway catenary structural monitoring system: full-scale case study / Petter N., Ronnquist A., Stichel S. // Case Studies in Structural Engineering – 2016 - №6 – P. 22-26

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бутенко Елена Александровна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Аспирантка кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПС.
Тел.: +7 (904) 0760095, +7 (913) 6004786.
E-mail: butenkoelena1994@gmail.com

Смердин Александр Николаевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПС.
Тел.: +7 (904) 5884048.
E-mail: alexandr.smerdin@omgups.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Butenko Elena Alexandrovna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Post-graduate student of the department
«Electricity supply of railway transport»
OSTU.
Phone: +7 (904) 0760095, +7 (913) 6004786
E-mail: butenkoelena1994@gmail.com

Smerdin Alexandr Nikolaevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor of the department «Electricity supply
of railway transport» OSTU.
Phone: +7 (904) 5884048.
E-mail: alexandr.smerdin@omgups.com

Ю. В. Кондратьев, В. Л. Незевак, В. В. Эрбес

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

В статье рассматриваются основные вопросы, возникающие при рассмотрении задачи реализации проекта цифровой тяговой подстанции железнодорожного транспорта. Отмечен ряд проблем, требующих решения, в области использования оптических измерительных трансформаторов, перехода на шину процесса подстанции, изменения технологии сбора и обработки данных для существующих систем релейной защиты и автоматики, телеуправления и телесигнализации, учета и измерения электроэнергии и др.

Ключевые слова: цифровая тяговая подстанция, релейная защита, автоматика, телеуправление и телесигнализация, учет и измерение электроэнергии, оптические измерительные трансформаторы, протокол, шина процесса, программное обеспечение, автоматизированное рабочее место, переход на стандарт IEC 61850.

CONCEPT OF DEVELOPMENT OF THE DIGITAL TRACTION SUBSTANCE

Yurij V. Kondratiev, Vladislav L. Nezevak, Viktor V. Erbes

Omsk State Transport University, (OSTU), Omsk, Russian Federation

The article deals with the main issues arising in the consideration of the problem of implementation of the project of digital traction substation of railway transport. Noted a number of issues to be addressed in the use of optical transformers, the transition to the process bus of the substation, modifications of data collection and processing for existing systems of relay protection and automation, remote control and remote signaling, accounting and metering etc.

Keywords: digital traction substation, relay protection, automation, remote control and tele-alarm, electricity metering and measurement, optical measuring transformers, Protocol, process bus, software, automated workplace, transition to IEC 61850 standard.

Развитие технологий передачи и анализа данных, построение различных систем мониторинга и управления позволяет решать целый ряд вопросов, связанных с агрегированием большого объема данных, повышением качества управления, выявления особенностей работы технологических процессов, их анализа в режиме реального времени и оперативного реагирования как в

нормальных, так и аварийных режимах. Развитие проекта цифровой экономики предполагает использование данных во всех сферах экономической деятельности, в том числе и в электроэнергетике, в цифровой форме.

Исследование вопросов по организации передачи данных в соответствии с требованиями стандарта IEC 61850 на электрических подстанциях в различных аспектах активно проводится как за рубежом [1 – 3], так и в России [4 – 7]. Одним из наиболее известных протоколов для передачи информации о состоянии объектов, релейной защиты и автоматики является протокол GOOSE (Generic Object-Oriented Substation Event). Применение указанного протокола основано на использовании логических узлов, содержащих сведения об объекте, его состоянии, поведении, паспортных данных, пусках и др. характеристиках. Указанный протокол не распространен на электроэнергетических объектах России и не применяется на объектах системы тягового электроснабжения ОАО «РЖД».

Стратегия развития цифровых электрических сетей и цифровых подстанций подразумевает широкое распространение технологий, позволяющих повысить эффективность работы электросетевого комплекса в целом. В частности, цифровизация в электросетевом комплексе направлена на оптимизацию режимов работы, интеграцию систем накопления энергии и распределенной интеграции в электросетевом комплексе, получение эффекта от сокращения уровня потерь и снижения резерва генерирующих мощностей, интеграцию с возобновляемыми источниками энергии и др.

Стандарт МЭК 61850 подразумевает структуру подстанции, состоящую из трех уровней:

- 1) уровень процесса (измерительные трансформаторы тока и напряжения, коммутационные аппараты подстанции);
- 2) уровень присоединения (устройства релейной защиты и автоматики, автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электроэнергии, системы контроля качества электроэнергии);
- 3) уровень подстанции (сервер подстанции, автоматизированные рабочие места (АРМ) оперативного дежурного подстанции, АРМ релейной защиты, удаленного доступа).

Необходимо отметить, что элементы рассмотренных уровней в том или ином виде присутствуют на современных подстанциях, в том числе и на

тяговых подстанциях железнодорожного транспорта, оснащенных микропроцессорной релейной защитой, системами телемеханики и коммерческого учета электроэнергии и т. п.

В общем виде аналогами указанного протокола IEC 61850 являются протоколы обработки информации, применяемые в системах электроснабжения железнодорожного транспорта, системах релейной защиты, телемеханики и телеуправления, учета и измерений электроэнергии и т. п. Источником информации для указанных систем являются вторичные цепи измерительных трансформаторов и коммутационных аппаратов.

Для эффективного управления системой тягового электроснабжения требуется значительный массив информации, характеризующий состояние оборудования (диагностика), положение коммутационных аппаратов и режимы работы, содержащий данные о работе и состоянии следующих систем:

- релейной защиты и автоматики;
- систем регистрации аварийных событий;
- коммутационных аппаратов, схем питания и секционирования контактной сети и тяговых подстанций, линейных устройств;
- о нагрузке присоединений и напряжениях в ключевых узлах системы тягового электроснабжения;
- о выполняемых и планируемых работах по техническому обслуживанию;
- об учете и измерениях электроэнергии с заданной дискретизацией по присоединениям;
- о результатах диагностики оборудования (контроль изоляции высоковольтных вводов силовых трансформаторов: измерение токов утечки, тангенса угла диэлектрических потерь, относительного изменения емкости изоляции; контроль утечки трансформаторного масла; контроль частичных разрядов и др.).

Для использования информации в цифровом виде, реализации интеллектуального оснащения ЦТПС предварительно должны быть решены следующие задачи:

- разработан математический аппарат, позволяющий определять оптимальные режимы работы системы тягового электроснабжения, выполняющий оперативную локализацию аварий на подстанции и контактной сети, позволяющий проводить анализ электропотребления;

- созданы методики и алгоритмы прогнозирования состояния оборудования и уровня электропотребления;
- созданы алгоритмы управления резервом мощности, уровнем реактивной мощности, работой систем накопления электроэнергии, оперативного управления коммутационными аппаратами с учетом состояния схемы питания и секционирования контактной сети.

На современном уровне развития тяговые подстанции обладают рядом элементов, позволяющих интегрировать их в проект цифровая подстанция [8, 9]. Первый уровень структуры ЦТПС составляют измерительные трансформаторы, установленные на большинстве присоединений, и коммутационные аппараты. Большая часть измерительных трансформаторов является аналоговыми и их интеграция в проект цифровая подстанция возможна путем применения аналогово-цифровых преобразователей. Указанные преобразователи отсутствуют и на коммутационных аппаратах, вторичные цепи которых используются для передачи информации и состоянии и управления. Мнение о том, что для реализации проекта ЦТПС необходимы оптические измерительные трансформаторы [10] является спорным, на современном этапе аналоговые измерительные трансформаторы хорошо себя зарекомендовали как по ресурсу работы, так и по точности измерений, к тому же возможен вариант использования аналого-цифровых преобразователей, а оптические измерительные трансформаторы существенно повышают стоимость проекта ЦТПС, несмотря на планируемое сокращения протяженности контрольных кабелей. Существует ряд вопросов относительно организации и дублирования шины процесса ЦТПС, с помощью которой, как предполагается, будет организована работа релейной защиты и автоматики, систем учета и измерений, регистрации аварийных событий, определения положения и управления коммутационными аппаратами. Структура информационного обмена в рамках цифровой подстанции приведена на рис. 1.

На втором уровне на современных тяговых подстанциях эксплуатируются системы телемеханики, релейной защиты и автоматики, автоматизированной системы коммерческого учета и др. Модернизация оборудования и постепенный переход на современную элементную базу позволил внедрить в системах тягового электроснабжения цифровые системы телемеханики, например, такие как АСТМУ, АМТ, АТСР, на микропроцессорной базе,

позволяющих получать в цифровом виде телеметрию с управляемых объектов и осуществлять телеуправление. Переход на информацию в цифровом виде реализуется и в области построения релейной защиты. Например, с помощью микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики серии ИнТер, предназначенных для применения на присоединения контактной сети 3,3 кВ и 27,5 кВ и трехфазных присоединениях 6-35 кВ. Частота измерений указанных находится в диапазоне значений 8 и 24 точки на период, указанных в стандарте МЭК 61850. В данном случае переход на стандарт потребует корректировки программного обеспечения. В области коммерческого учета на тяговых подстанциях эксплуатируется автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии, позволяющая передавать информацию на верхний уровень в программный комплекс «Энергия Альфа 2», позволяющий агрегировать информацию по всем охваченным присоединениям тяговой подстанции в цифровом виде с использованием сбора информации по цифровой сети передачи данных.



Рис. 1. Структура взаимодействия элементов ЦТПС

Третий уровень ЦТПС представлен автоматизированными рабочими местами, входящими в автоматизированную систему управления ОАО «РЖД».

В качестве примера автоматизированного рабочего места можно привести систему управления электрохозяйством АСУ Э, применяемую в Трансэнерго – филиал ОАО «РЖД». Необходимо отметить, что применяемое программное обеспечение отлично от SCADA. Переход на проект ЦТПС также потребует доработки существующего программного обеспечения или перехода на новое.

Развитие проекта ЦТПС подразумевает решение целого ряда задач, связанных с изменением используемых технологий измерения, сбора и передачи данных об электрических величинах в областях: анализа данных режимов работы, учета электроэнергии, релейной защиты и автоматики, телеуправления и телесигнализации. Одномоментный переход к проекту ЦТПС является крайне дорогостоящей процедурой и представляется нецелесообразным, поскольку подразумевает переход на новые технологии сбора и обработки данных на всех тяговых подстанциях (последовательно по диспетчерским кругам). В случае принятия решения о переходе на стандарт IEC 61850 целесообразным представляется переход в три этапа: первый – подготовительный, в период которого существующая инфраструктура дублируется и выполняется монтаж новой, второй – переходный, когда выполняется переключение на новое оборудование, третий – прежняя инфраструктура сбора и обработки информации данных демонтируется.

Основными вопросами, стоящими перед технико-экономическим обоснованием проекта реализации ЦТПС являются следующие:

- 1) является ли необходимым переход на стандарт IEC 61850, не дающий очевидных преимуществ в системе тягового электроснабжения;
- 2) целесообразно ли использовать оптические измерительные трансформаторы на ЦТПС;
- 3) следует ли отказаться от существующей инфраструктуры построения релейной защиты, автоматики, учета и измерений и др. для перехода на новый протокол передачи и обработки информации;
- 4) вследствие необходимых дополнительных затрат на организацию шин процесса, программного обеспечения, оптических измерительных трансформаторов, стоимости технического обслуживания дополнительной аппаратуры, насколько возрастет стоимость ЦТПС по сравнению с «аналоговой» подстанцией;

5) какое программное обеспечение будет применяться на ЦТПС, как будет обеспечиваться информационная безопасность и т. п.

Исходя из вышесказанного концепция развития проекта ЦТПС предполагает анализ существующих решений в области сбора и обработки информации на тяговых подстанциях по кругу существующих систем, принятия типовых решений по внедрению проекта ЦТПС, разработки технико-экономического обоснования, разработку технологии перехода и круга решаемых задач в аспекте интеллектуальной системы тягового электроснабжения.

Список литературы

1. Hänsch, K. Communication for battery energy storage systems compliant with IEC 61850 / K. Hänsch, A. Naumann, C. Wenge, M. Wolf // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2018. – Volume № 103. – Pp. 577-586.
2. Influence of data-related factors on the use of IEC 61850 for power utility automation / Miguel J. Gonzalez-Redondo, Antonio Moreno-Munoz, VictorPallares-LopezRafael, J.Real-Calvo // Electric Power Systems Research. – 2016. – Volume 133. – Pp. 269-280.
3. Arrangement of Data Exchange between Adaptive Digital Current and Voltage Transformer and SCADA-system under IEC 61850 Standard / Author links open overlay panel / E. V. Solomin, D. V. Topolsky, N. D. Topolsky // Procedia Engineering. 2015 – Volume 129. – Pp. 207-212.
4. Мезенцев, С. Д. Реализация цифровой электрической подстанции на базе отечественного оборудования / С. Д. Мезенцев, А. Н. Лыков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 5. – С. 229 – 231.
5. Дистанционное управление на подстанции 330 кВ Губкин в Белгородской области - на реальном пути к цифровой энергетике // Электрические станции. – 2018. – № 7 (1044). – С. 28.
6. Хлебцов, А. П. Тенденции и перспективы развития информационно-измерительных систем диагностики цифровых подстанций / А. П. Хлебцов, А. Н. Шилин // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2018. – № 2 (23). – С. 31-36.
7. Аношин, А. О. Стандарт МЭК 61850. Информационная модель устройства / А. О. Аношин, А. В. Головин // Новости ЭлектроТехники. – 2012. – №5 (77). – С. 14 – 18.

8. Незевак, В. Л. Основные подходы к использованию накопителей электроэнергии в сетях Smart Grid системы тягового электроснабжения / В. Л. Незевак // Труды международной науч.-практ. конференции «Транспорт-2015» / Ростов-на-Дону: Ростовский гос. ун-т путей сообщения. – 2015. – С. 103 – 104.

9. Незевак, В. Л. Управление устройствами системы тягового электроснабжения на основе технологий Smart Grid / В. Л. Незевак, В. В. Эрбес // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2018. – Т. 1. – С. 618 – 621.

10. Куликова, Е. А. Оптические трансформаторы - инновационные разработки для развития электроэнергетического комплекса ОАО «РЖД» / Е. А. Куликова, А. Н. Бебрис // Теория и практика современной науки: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. – Минск: Навуковы свет, 2017. – С. 38 – 41.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кондратьев Юрий Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроснабжение железнодорожного
транспорта» ОмГУПС.
Тел.: (3812) 44-39-23
E-mail: juvk.omgups.egt@mail.ru

Незевак Владислав Леонидович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроснабжение железнодорожного
транспорта» ОмГУПС.
Тел.: (3812) 44-39-23
E-mail: nezevakwl@mail.ru

Эрбес Виктор Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник НИЧ ОмГУПС.
Тел.: (3812) 44-39-23
E-mail: erbes-viktor@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kondratev Yuriy Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Ph. D. in Engineering, Associate Professor of
the department «Electricity supply of railway
transport » OSTU.
Phone: (3812) 44-39-23
E-mail: juvk.omgups.egt@mail.ru

Nezevak Vladislav Leonidovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Ph. D. in Engineering, Associate Professor of
the department «Electricity supply of railway
transport » OSTU.
Phone: (3812) 44-39-23
E-mail: nezevakwl@mail.ru

Erbes Viktor Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Ph. D. in Engineering, Senior Researcher OSTU.
Phone: (3812) 44-39-23
E-mail: erbes-viktor@mail.ru

А. А. Ковалев, Н. В. Крапивин

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
г. Екатеринбург, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ ТОКОСЪЕМА

В статье рассмотрены основные причины разрегулировок контактной подвески, приведен пример моделирования по методу Монте-Карло для оценки опор контактной сети.

Ключевые слова: контактная сеть, разрегулировка, опора, моделирование.

Alexey A. Kovalev, Nikita V. Krapivin

Ural State University of Railway Engineering (USURT), Yekaterinburg, Russia

INCREASE IN RELIABILITY OF OBJECTS OF THE INFRASTRUCTURE COMPLEX OF THE TOKOSJEM SYSTEM

In article the main reasons for maladjustments of a contact pendant are considered, the example of modeling by the Monte Carlo method for assessment of influence of uncertainty of behavior of a support of contact network in various situations is given.

Keywords: contact network, maladjustment, support, modeling.

Контактная сеть железных дорог обеспечивает качественный и надежный токосъем, поэтому контактная сеть играет важную роль на электрифицированных участках железных дорог. На магистральных дорогах стремятся повышать скорости движения электроподвижных составов (ЭПС). Интенсивность движения приводит к повышению износа контактных проводов и разрегулировкам их в плане пути.

Анализ отказов за 2012 – 2017 годы по сети железных дорог показывает, что наиболее характерными являются отказы из-за разрегулировок контактных проводов, их обрыва, а в некоторых случаях и поломки фиксаторного узла. Положение дополнительного стержня фиксатора относительно основного в зависимости от нахождения на анкерном участке, может быть различным.

Так, например, при нахождении фиксатора ближе к анкеровке, или в кривом участке пути, дополнительный стержень чаще разрегулируется.

Подобный вид отклонений зачастую происходит из-за температурных перемещений контактной подвески и в некоторых случаях приводит к отказам.

Помимо дополнительного стержня фиксатора свое положение изменяет консоль, которая является поддерживающей конструкцией как для несущего троса, так и для фиксатора контактного провода. Существует еще один фактор, способствующий отклонению фиксирующих конструкций от нормы – угол наклона опоры контактной сети, который с течением времени тоже увеличивается [1]. Все это негативно сказывается на качестве токосъема, приводит к появлению жестких точек в месте фиксации, а как следствие, перекос фиксатора и его поломке.

Стратегия развития железнодорожного транспорта (ЖТ) в РФ до 2030 года предусматривает развитие в России скоростного и высокоскоростного движения. Одной из главных задач Стратегии является, разработка технических средств нового поколения для скоростных и высокоскоростных магистралей [2]. С учетом того что испытать на практике поведение объектов контактной сети при скоростях движения более 300 км/ч не является возможным, приходится применять моделирование процессов их работы.

В некоторых случаях моделирование последствий неопределенности с применением аналитических методов недопустимо в связи со сложностью таких систем. Тем не менее, провести оценку становится возможным, если обработка исходных данных выполняется как случайные переменные, а расчет проводится за N циклов (так называемая имитация) при отборе исходных данных для получения N возможных выходных значений для желаемого результата [3].

Моделирование по методу Монте-Карло представляет собой средство оценки воздействия неопределенности поведения опоры контактной сети в различных ситуациях (критические нагрузки, высокая интенсивность движения и др.).

При моделировании по методу Монте-Карло в качестве исходных данных будет использоваться модель опоры контактной сети надлежащего качества и информация о типах исходных данных (тип, марка опоры, основные габаритные параметры), описание непредставленных источников

неопределенности (степень коррозионного состояния арматуры, угол наклона) и описание ожидаемых результатов расчета.

Применение методики производится следующим образом:

1. Определяется модель или алгоритм, более точно описывающая поведение изучаемого объекта ЖТ.

2. Модель реализуется многократно с использованием случайных чисел для расчета результатов (имитация объекта ЖТ). Если приложению требуется смоделировать воздействие неопределенности, модель представляет собой уравнение, устанавливающее отношение между исходными данными и результатом.

3. В любом случае расчет модели ЭВМ производит многократно (до 10 тысяч циклов), большое количество исходных данных для расчета формируют массив результатов. При анализе результатов применяются традиционные статистические методы

Предложенную модель рассмотрим на примере опор контактной сети, так как от их положения напрямую связана работа фиксаторных узлов. Арматура и бетон являются главными показателями состояния опор. В свою очередь величина коррозии – главный показатель состояния арматуры опоры.

Несущая способность опоры определяется пространством состояний с большим числом фазовых координат. Основных причин большой размерности пространства состояний три:

- опора имеет конечные (отличные от нуля) геометрические размеры и, следовательно, непостоянную по протяженности прочность (под протяженностью в общем случае понимаются три измерения);

- нагрузки, включая климатические, по протяженности опоры также различны;

- степень и скорость коррозии арматуры под действием токов и бетона по протяженности различны.

Результаты исследований показывают, что уменьшение потенциала грунта происходит по экспоненте от заземленного электрода. Так например потенциал грунта будет выше со стороны пути, а со стороны поля потенциал грунта будет ниже, чем потенциал арматуры опоры, при условии, что опора не заземлена. Это приводит к тому, что блуждающие токи втекают в опору со стороны пути, а со стороны поля блуждающие токи стекают. Величина

воздействия блуждающих токов будет зависеть от крутизны экспоненты и свойств грунтов. При средней величине крутизны кривой коррозии арматуры не так интенсивна, но, тем не менее, возможно нарушение пассивации арматуры опоры.

Исследования опор, подверженных коррозированию, показали, что коррозия той части опоры, которая находится в земле – неравномерна, поэтому можно сделать вывод и о неравномерной пространственной прочности опоры.

Все вышеуказанное требует учета в модели опоры пространственной протяженности. В общем виде модель опоры, как объекта диагностирования, может быть представлена записью:

$$Z = \psi(M, X, Y, Z, A, B, t), \quad (1)$$

где M – момент от внешних сил;

X, Y, Z – пространственные координаты;

A, B – параметры арматуры и бетона.

Требуемая зависимость может быть представлена в аналитической или табличной форме.

Другим следствием является требование к средству диагностирования определять не только степень коррозии арматуры в опоре, но, прежде всего, место и размеры коррозионных повреждений. Например, наиболее информативной для промежуточных опор будет определение степени коррозии арматуры в подземной части с внешней стороны опоры на глубине 0,3...0,6м.

Для составления комплексной диагностики опор воспользуемся методом, основанным на теореме Байеса, и методом последовательного анализа.

Рассмотрим статистические методы распознавания.

При наличии неопределенности принятия решения применяются специальные методы, учитывающие вероятностную природу событий. Такие методы позволяют назначать границу поля допуска параметра, или необходимое число опытов для принятия решения о диагностировании. Большая часть методов основана на том, что имеется некоторая доопытная (априорная) вероятность в постановках диагностирования. Так, большинство методов предполагают априорно известными вероятности диагностирования для однотипных объектов, находящихся в одинаковых условиях. Часто выбор того или иного решающего правила проводится на основе оптимизации по некоторым критериям. Статистические методы позволяют одновременно

учитывать диагностические сигналы различной физической природы, так как они работают лишь с их вероятностными характеристиками.

Следует учитывать, что рассматриваемые методы принятия решений являются лишь инструментом, а окончательное решение, как и ответственность за его последствия, лежит на конкретном человеке.

Пусть состояние опоры контактной сети характеризуется некоторым признаком K_j (наклон опоры контактной сети). Причем известно, что указанный признак может проявляться как при наличии диагноза D_i (опора прокорродировала), так и при его отсутствии (опора наклонена из-за податливости грунта). Важно лишь то, что появление признака K_j является случайным, но статистически зависимым от наличия диагноза D_i . Вероятность совместного появления событий (наличие у объекта состояния D_i и признака K_j) рассчитывается по формуле

$$P(D_i K_j) = P(D_i) \cdot P(K_j / D_i) = P(K_j) \cdot P(D_i / K_j). \quad (2)$$

Из этого равенства вытекает теорема Байеса:

$$P(D_i / K_j) = P(D_i) \frac{P(K_j / D_i)}{P(K_j)}, \quad (3)$$

где $P(D_i)$ – априорная вероятность диагноза, определенная по статистическим данным;

$P(K_j / D_i)$ – вероятность появления признака K_j у объектов с состоянием D_i ;

$P(K_j)$ – вероятность появления признака K_j во всех объектах независимо от состояния.

По результатам проделанных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Не смотря на соблюдение требований по капитальному ремонту опор на участках контактной сети, большая часть опор имеют недопустимые показатели состояния надежности, что приводит к разрегулировке контактной подвески.

2. Для повышения надежности работы контактной сети требуется проведение оценки рисков отказов участков из-за разрегулировки и планирование определенных управляющих решений по исключению риска.

3. Для оценки состояния опор контактной сети, необходимо создание автоматической приборной базы для оценки и контроля их установочных параметров.

Список литературы

1. Ковалев, А. А. Прогноз эксплуатационной надежности опор контактной сети /А. А. Ковалев // Электрика. – 2008. – №1. – С. 39–43.
2. Смердин, А. Н., Показатели эффективности защитных покрытий железобетонных опор /А. Н. Смердин, С. Н. Смердин, Д. А. Комсюкова // Инновационный транспорт. – 2013. – № 1(7). – С. 14–17.
3. Галкин, А. Г. Теория и методы расчетов процессов проектирования и технического обслуживания контактной сети: дис. ... д-ратехн. наук: 05.22.07: защищена 22.11.02: утв. 15.10.03. / Александр Геннадьевич Галкин. – Екатеринбург, 2002. –300с. – Библиогр.:с. 287–298.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ковалев Алексей Анатольевич

Уральский государственный университет
путей сообщения (УрГУПС).
Колмогороваул., д. 66, г. Екатеринбург,
620034, Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроснабжение транспорта» УрГУПС.
Тел.: 89506377440
E-mail: AKovalev@usurt.ru

Крапивин Никита Васильевич

Уральский государственный университет
путей сообщения (УрГУПС).
Колмогороваул., д. 66, г. Екатеринбург,
620034, Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроснабжение
транспорта».
Тел.:89506406791
E-mail: nik.plst@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kovalev Alexey Anatolyevich

Ural State University of Railway Engineering
(USURT).
Kolmogorov st., 66, Yekaterinburg, 620034,
the Russian Federation.
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the department «Electricity Supply
of Transport» USURT.
Phone: 89506377440
E-mail: AKovalev@usurt.ru

Krapivin Nikita Vasilyevich

Ural State University of Railway Engineering
(USURT).
Kolmogorov st., 66, Yekaterinburg, 620034,
the Russian Federation
Graduate student of the department «Electricity
Supply of Transport».
Phone: 89506406791
E-mail: nik.plst@mail.ru

В. А. Кандаев, О. В. Литвинова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ПЕРЕХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В МЕСТАХ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО ИЗОЛИРУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ КАБЕЛЯ

В статье рассмотрена методика учета параметров повреждения в переходном сопротивлении кабеля в полимерном изолирующем покрытии. Представление границы раздела фаз в виде эквивалентной схемы замещения помимо наглядности дает возможность при описании процессов использовать хорошо разработанный аппарат современной теоретической электротехники. Из полученных результатов следует, что полное переходное сопротивление изоляционного полимерного покрытия шлангового типа, определенное с учетом наличия дефектов в изолирующем покрытии, является количественным показателем качества изолирующего покрытия.

Ключевые слова: кабель, повреждение изоляции, сопротивление растеканию, полное переходное сопротивление, площадь повреждения, границы раздела сред.

Vasilii A. Kandaev, Olga V. Litvinova

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

TRANSITIONAL RESISTANCE IN PLACES OF DAMAGE TO POLYMERIC ISOLATING COATING OF THE CABLE

The article describes the method of accounting for the parameters of damage in the transition resistance of the cable in a polymeric insulating coating. The representation of the phase boundary in the form of an equivalent replacement circuit, in addition to visual clarity, makes it possible to use the well-developed apparatus of modern theoretical electrical engineering when describing processes. From the obtained results it follows that the total transitional resistance of an insulating polymer coating of a hose type, determined taking into account the presence of defects in the insulating coating, is a quantitative indicator of the quality of the insulating coating.

Keywords: cable, insulation damage, spreading resistance, full transition resistance, area of damage, interface.

Железнодорожный транспорт имеет развитую сеть кабельных линий электроснабжения, магистральных и местных линий связи, кабельных линий контроля и автоматики. Подземные коммуникации железнодорожного транспорта

обеспечивают функционирование систем, их безопасное обслуживание и защиту этих систем в условиях грозových разрядов, токов короткого замыкания, ЛЭП высокого напряжения и тягового электроснабжения [1].

Современные проводные сооружения электрифицированного железнодорожного транспорта эксплуатируются в сложных коррозионных условиях. Основным видом защиты от коррозии алюминиевой оболочки железнодорожного кабеля являются полимерные покрытия, обеспечивающие изоляцию алюминиевой конструкции от воздействия агрессивных компонентов окружающей среды и проникновению блуждающих и других токов на алюминиевую оболочку [2]. В качестве изолирующих покрытий в настоящее время используется полиэтилен, в том числе и термоусаживаемый, в основном для выполнения ремонтно-восстановительных работ, поливинилхлорид, полиамиды, и битумные компаунды. Материалы должны иметь хорошую адгезию к металлу сооружения; обладать высокими диэлектрическими свойствами; малой влаго- и газопроницаемостью, иметь высокие механические свойства. Результаты сравнительных испытаний различных полимерных изолирующих покрытий показали, что их защитные свойства зависят от конструкции изолирующего покрова, свойств используемых материалов и технологии нанесения изолирующего покрытия на защищаемую поверхность [3].

Учитывая, изменения химического состава верхних слоев грунта активная деятельность хозяйств электроснабжения связана с укладкой подземных сооружений, их контроля, диагностики и ремонта. Кроме того с увеличением применения электрической энергии разного вида, увеличиваются блуждающие токи, что негативно влияет на состояние металлических покровов подземных сооружений.

Кабельная продукция в алюминиевой оболочке и джутовом покрытии не выпускается в силу сложности защиты от коррозионных и других процессов, поэтому кабели в алюминиевой оболочке в настоящее время изготавливаются в качественном полимерном покрытии (изоляции) шлангового типа, что обеспечивает пассивную защиту от коррозии при целостном изолирующем покрытии. В случае повреждения полимерного изолирующего покрытия шлангового типа алюминиевая оболочка в этом месте выходит из строя со всеми вытекающими последствиями. Активные методы защиты от коррозии алюминиевой оболочки с поврежденным изолирующим покрытием в силу ряда причин не пригодны, поэтому контроль и отыскание мест повреждения изолирующего покрытия является одним из радикальных способов обеспечения работоспособности кабеля на весь амортизационный период. Для обоснования

технических решений по сохранению алюминиевой оболочки кабеля необходимы электрические параметры оболочки и изолирующего покрытия. Поэтому их определение является важной инженерной задачей.

В месте повреждения изолирующего полимерного покрытия кабеля полное переходное сопротивление с точки зрения электротехники может быть представлено как последовательное соединение сопротивления растеканию и комплексного сопротивления границы раздела сред «металл – электролит», возникающей при контакте оголенного участка металлического проводника с водным раствором электролитов [4].

В соответствии с эквивалентной электрической схемой представленной на рис. 1., полное переходное сопротивление можно записать в следующем виде:

$$Z_{\Pi} = Z_{\text{гр}} + R_p. \quad (1)$$

где $Z_{\text{гр}}$ - сопротивление границы раздела «металл – электролит»;

R_p - сопротивление растеканию.

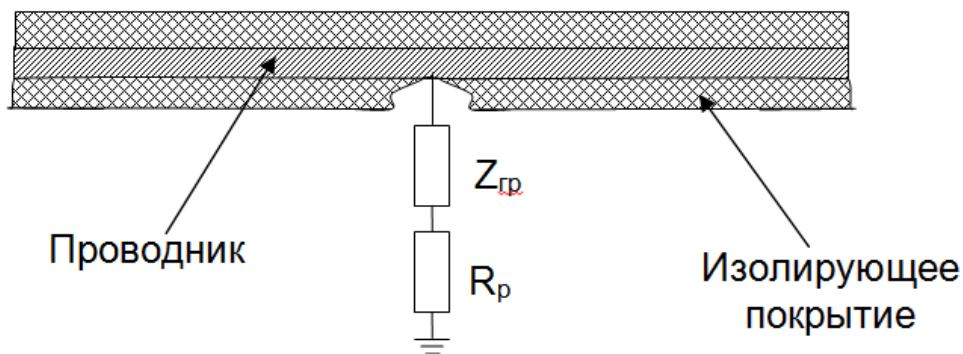


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема полного переходного сопротивления в месте повреждения изолирующего полимерного покрытия

Сопротивление растеканию полностью определяется параметрами земли и площадью повреждения [5]. Исходя из того, что размер повреждения много меньше глубины залегания кабеля, сопротивление растеканию можно рассчитать по следующей приближенной формуле [4]:

$$R_p \approx \frac{\rho}{2\sqrt{2S\pi}}, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление среды, Ом·м;

S – площадь повреждения, м².

Граница раздела «металл – электролит» формируется между твердой и жидкой фазами. Твердая фаза – металлический проводник, жидкая – водный раствор электролитов. Концентрация электролитов в большинстве грунтовых вод невелика, все вещества диссоциированы, их активность и концентрация

совпадают, а подвижность ионов не зависит от их концентрации. В общем случае граница раздела представляет собой двойной электрический слой, содержащий заряды разных знаков, которые концентрируются на обкладках. Наружная обкладка образуется за счет жидкой фазы, а внутренняя – за счет твердой фазы. В наружной части обкладки большинство ионов находятся в тепловом движении. Чем ближе к границе раздела фаз по нормали, тем подвижность ионов исчезает. Наружный жидкий слой делится на две части: плотный слой, или слой Гельмгольца, и диффузионный слой, или слой Гуи-Чапмена. Ионы примыкают непосредственно к фазовой границе и теряют свою подвижность внутри плотного слоя. Диффузионный слой имеет большие размеры, внутри которых ионы находятся в состоянии теплового движения. Сопротивление границы раздела сред «металл – электролит» обусловлено переходом электрических зарядов через границу раздела [6]. Этот переход связан с химическим взаимодействием металла с окружающей средой, в котором присоединяется или отдается электрон. Такие реакции носят название электрохимических или фарадеевских. При прохождении постоянного тока этот процесс является единственным способом для прохождения тока через границу раздела сред.

При прохождении переменного тока через границу раздела сред в переходном сопротивлении проявляются реактивные свойства, емкостного характера. Эквивалентная электрическая схема границы раздела представляет собой емкость с утечкой (рис. 2.) [7].

Емкость образуется за счет обкладок твердой и жидкой фаз, а утечку представляет поляризационное сопротивление. Представление границы раздела фаз в виде эквивалентной схемы замещения предоставляет возможность при описании процессов использовать хорошо разработанный аппарат современной теоретической электротехники.

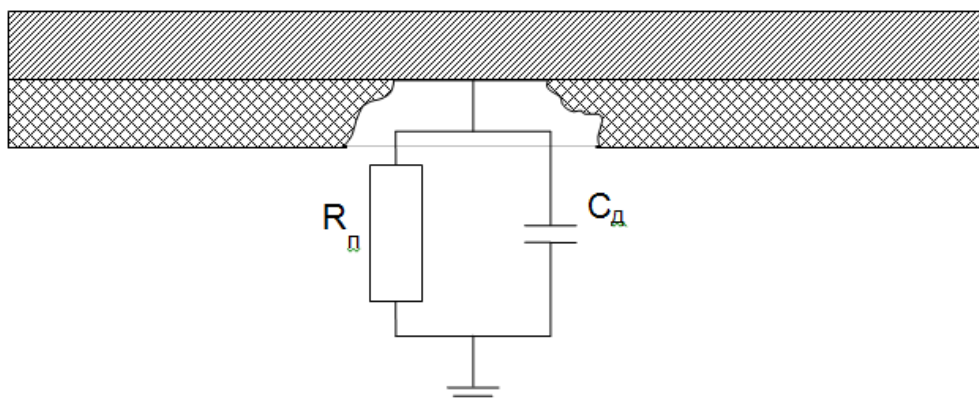


Рис. 2. Схема замещения границы раздела фаз

Сопротивление и емкость границы раздела сред «металл – электролит» определяют экспериментально, в виду сложной зависимости параметров границы раздела сред «металл – электролит» и от множества трудно учитываемых факторов, которые аналитически невозможно определить. Экспериментальные исследования параметров границы раздела обычно проводятся при синусоидальном токе [4], однако из-за большого количества влияющих факторов необходимо выполнить огромное количество измерений, что приводит к значительным временным затратам.

Схему замещения приведем к эквивалентной схеме, которая будет содержать поперечную ветвь – поперечную проводимость Y , и последовательную ветвь – продольное сопротивление Z . Рассмотрим продольное сопротивление, которое состоит из суммы составляющих

$$Z=R+j\omega L=R_c+j\omega(L_c+L_{\text{вн}}). \quad (3)$$

Поперечная комплексная проводимость изоляции запишется

$$Y_{\text{из}}=G+j\omega C$$

определим результирующую проводимость по формулам параллельного и последовательного соединения элементов с учетом параметров повреждения:

$$Y=\frac{Y_{\text{г}}(Y_{\text{из}}+Y_{\text{деф}})}{Y_{\text{г}}+Y_{\text{из}}+Y_{\text{деф}}}, \quad (4)$$

где $Y_{\text{из}}=G_{\text{из}}+j\omega C_{\text{из}}$ - комплексная проводимость изоляции;

$$Y_{\text{деф}}=\frac{Y_{\text{гр}}G_{\text{деф}}}{Y_{\text{гр}}+G_{\text{деф}}} - \text{комплексная проводимость дефекта};$$

$$Y_{\text{гр}}=G_{\text{гр}}+j\omega C_{\text{гр}} - \text{проводимость границы раздела};$$

$$C_{\text{гр}}=C'_{\text{гр}}S_{\text{деф}} - \text{емкость дефекта площадью } S_{\text{деф}},$$

$$C'_{\text{гр}} - \text{емкость дефекта площадью } S_{\text{деф}}=1.$$

Через процент повреждения поверхности кабеля P учтем емкость дефекта. Тогда,

$$C_{\text{гр}}=C'_{\text{гр}}\frac{\pi D_{\text{н}}}{100}P, \quad (5)$$

где $D_{\text{н}}$ – наружный диаметр металлической поверхности оболочки кабеля;

$P=0 \div 100\%$ - приведенный процент оголенности (поры, трещины) на единицу длины сооружения.

Через приведенную площадь дефекта $S_{\text{деф}}$ и сопротивление границы раздела на единицу поверхности повреждения $R_{\text{гр}}$ определяется проводимость

границы раздела за счет повреждения.

$$G_{\text{гр}} = \frac{S_{\text{деф}}}{R_{\text{гр}}} = \frac{\pi D_{\text{н}}}{R_{\text{гр}}} \frac{P}{100}. \quad (6)$$

Вследствии чего, проводимость границы раздела (повреждения), запишется

$$Y_{\text{гр}} = \frac{P}{100} \pi D_{\text{н}} \left(\frac{1}{R_{\text{гр}}} + j\omega C'_{\text{гр}} \right). \quad (7)$$

Сопротивление среды в повреждении $R_{\text{деф}}$ можно вычислить через приведенную площадь дефекта $S_{\text{деф}}$, сопротивление влаги на этом участке $\rho_{\text{г}}$ и толщину изоляции $\delta_{\text{из}}$ от поверхности металла до грунта. В расчетах удельное сопротивление влаги примем равным удельному сопротивлению земли на глубине заделки сооружения, поэтому:

$$R_{\text{деф}} = \frac{\rho_{\text{г}} \delta_{\text{из}}}{S_{\text{деф}}}. \quad (8)$$

Проводимость среды в повреждении выразим через процент дефектности (оголенности)

$$G_{\text{деф}} = \frac{1}{R_{\text{деф}}} = \frac{S_{\text{деф}}}{\rho_{\text{г}} \delta_{\text{из}}} = \frac{\pi D_{\text{н}}}{\rho_{\text{г}} \delta_{\text{из}}} \cdot \frac{P}{100}, \quad (9)$$

$$Y_{\text{деф}} = \frac{\pi D_{\text{н}} \left(\frac{1}{R_{\text{гр}}} + j\omega C'_{\text{гр}} \right)}{1 + \rho_{\text{г}} \delta_{\text{из}} \left(\frac{1}{R_{\text{гр}}} + j\omega C'_{\text{гр}} \right)} \cdot \frac{P}{100}. \quad (10)$$

Полная проводимость изоляции

$$G_{\text{и}} = G_{\text{ги}} + G_{\text{д.п.}}$$

состоит из проводимости изоляции

$$G_{\text{ги}} = \frac{\pi D_{\text{н}}}{R_{\text{н}}},$$

где $R_{\text{н}}$ – нормируемая величина сопротивления изоляции на единицу поверхности кабеля, Ом·м²,

и проводимости за счет диэлектрических потерь в изоляции

$$G_{\text{д.п.}} = \omega C_{\text{и}} \text{tg} \delta,$$

где $\operatorname{tg} \delta$ - составляющая диэлектрических потерь в изоляции.

Если имеются повреждения в изоляционном покрытии кабеля соответственно площадь неповрежденной части изоляции уменьшается, поэтому проводимость изоляции рассчитывается

$$G_{\text{ги}} = \frac{\pi D_{\text{н}}}{R_{\text{н}}} \left(1 - \frac{P}{100} \right). \quad (11)$$

Емкость цилиндрического конденсатора, образующаяся между боковой поверхностью сооружения и землей, определяется как

$$C_{\text{и}} = \frac{2\pi\epsilon_{\text{г}}\epsilon_0}{\ln \left(1 + \frac{2\delta_{\text{из}}}{D_{\text{н}}} \right)},$$

где $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ - диэлектрическая постоянная, Ф/м;

$\epsilon_{\text{г}}$ - относительная диэлектрическая проницаемость грунта;

$\delta_{\text{из}}$ - толщина слоя изоляции, м;

$D_{\text{н}}$ - наружный диаметр по металлической поверхности, м.

С учетом изменения боковой поверхности за счет повреждений, подстановки ϵ_0 и некоторых преобразований, получим

$$C_{\text{и}} = \frac{\epsilon_{\text{г}} \cdot 10^{-9}}{36\delta_{\text{из}}} D_{\text{н}} \left(1 - \frac{P}{100} \right). \quad (12)$$

Исходя из полученных результатов следует вывод, что полное переходное сопротивление изоляционного полимерного покрытия шлангового типа, определенное с учетом наличия повреждений в изолирующем покрытии, является количественным показателем качества изолирующего покрытия.

Список литературы

1. Котельников, А. В. Электрификация железных дорог, мировые тенденции и перспективы / А. В. Котельников. – М.: Интекст, 2002. – 103 с.
2. Герасимов, В. В. Коррозия алюминия и его сплавов / В. В. Герасимов. – М.: Металлургия, 1970. – 114 с.
3. Ершов, И. М. Определение опасности электрокоррозии подземных кабелей связи / И. М. Ершов. – М.: Транспорт, 1957. – 92 с.

4. Котельников, А. В. Блуждающие токи и эксплуатационный контроль коррозионного состояния подземных сооружений системы электроснабжения железнодорожного транспорта / А. В. Котельников, В. А. Кандаев / УМЦ ЖДТ. – М., 2013. – 552 с.

5. Гринберг, Г. А. Основы точной теории волнового поля линий электропередачи // Журнал технической физики. – 1954. – Т. 24. – Вып. 1. – С. 67 – 95.

6. Антропов, Л. И. Теоретическая электрохимия / Л. И. Антропов. – М.: Высшая школа, 1965. – 509 с.

7. Скорчеллетти, В. А. Теоретическая электрохимия / В. А. Скорчеллетти. – М.: Химия, 1969. – 608 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кандаев Василий Андреевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доктор технических наук, профессор
кафедры «Телекоммуникационные,
радиотехнические системы и сети»
ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-06-94.

Литвинова Ольга Владимировна

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., 35 г. Омск, 644046,
Российская Федерация
Инженер кафедры
«Телекоммуникационные,
радиотехнические системы и сети»
ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-06-94
E-mail: Litvinova69.08@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kandaev Vasilii Andreevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Doctor of Technical Sciences, Professor of
the department «Telecommunications, radio
systems and networks» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-06-94.

Litvinova Olga Vladimirovna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Engineer of the department
«Telecommunications, radio systems and
networks» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-06-94.
E-mail: Litvinova69.08@mail.ru

В. В. Харламов, Д. И. Попов, А. И. Стретенцев

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

АЛГОРИТМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ КОММУТАЦИИ КОЛЛЕКТОРНЫХ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В работе представлен алгоритм цифровой обработки сигнала импульсов напряжения, обусловленных искрением под щетками в коллекторном тяговом двигателе. Представленный алгоритм позволяет произвести амплитудную селекцию, выполнить сдвиг сигнала по фазе и рассчитать площади импульсов искрения, разделив их на группы в соответствии с принадлежностью скоммутировавших секций определенному положению в пазу.

Ключевые слова: диагностирование, коммутация, тяговый двигатель, алгоритм обработки сигнала.

Viktor V. Kharlamov, Denis I. Popov, Andrey I. Stretentsev

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

THE ALGORITHM OF DIGITAL PROCESSING OF THE DIAGNOSTIC SIGNAL USED FOR ASSESSING THE STATE OF THE COMMUTATION IN TRACTION COLLECTOR MOTORS

The article presents an algorithm for digital signal processing of voltage pulses caused by the spark under the brushes in the collector traction motor. The presented algorithm allows to make the amplitude selection, to perform the phase shift of the signal and to calculate the area of the spark pulses, dividing them into groups in accordance with the belonging of the commuted sections to a certain position in the groove.

Keywords: diagnosis, communication, traction motor, signal processing algorithm.

Неотъемлемой частью процесса ремонта и обслуживания коллекторных тяговых двигателей являются послеремонтные приемосдаточные испытания [1], [2]. Данный вид испытаний включает в себя визуальный осмотр и проверку качества сборки, измерение активного сопротивления обмоток, измерение сопротивления изоляции, проверку вибрации, испытание на нагревание под нагрузкой, испытание на повышенную частоту вращения и проверку состояния коммутации.

В соответствии с ГОСТ 2582-2013 «Проверку коммутации проводят на нагретой до рабочего состояния электрической машине. Проверка включает в себя: визуальную оценку коммутации по степени искрения в соответствии с ГОСТ 183. Оценку коммутации допустимо выполнять с помощью видеокамер или по согласованию с заказчиком индикаторами и другими методами, обеспечивающими достоверную оценку степени искрения» [3].

Визуальная оценка имеет ряд недостатков: является субъективной, некоторые щетки тяговых электродвигателей имеют затрудненный доступ для визуального наблюдения. Это приводит к оценке состояния коммутации не по всем щеточным bracketам, а лишь по части или даже только по одному из них.

Выполнить более объективную оценку состояния коммутации и оценить степень искрения одновременно под всеми щетками возможно только с применением специального оборудования. Для достижения данной цели разработан цифровой прибор контроля коммутации МПКК [4]. Данный прибор позволяет производить регистрацию и запись информации об импульсах искрения со щетки-датчика или разнополярных щеток и выполнять математическую обработку полученной информации по заданному алгоритму.

Для выполнения прибором МПКК математической обработки сигнала, полученного с разнополярных щеток при гладком питании испытуемой машины, разработан следующий алгоритм, представленный на рис.1. Данный алгоритм позволяет реализовать подсчет площадей импульсов [5] в соответствии со способом диагностирования [6] состояния коммутации по параметрам законов распределения интенсивности искрения [7].

Рассмотрим работу представленного алгоритма.

Работа по алгоритму начинается с ввода следующих параметров процесса измерения и записи диагностического сигнала:

- $N_{\text{изм}}$ – количество записываемых точек;
- $\Delta t_{\text{изм}}$ – шаг по времени при дискретизации сигнала, с;

а также параметров тягового двигателя и режима его работы:

- n – частота вращения, об/мин;
- $N_{\text{к}}$ – число коллекторных пластин;
- N – число секций в пазу.

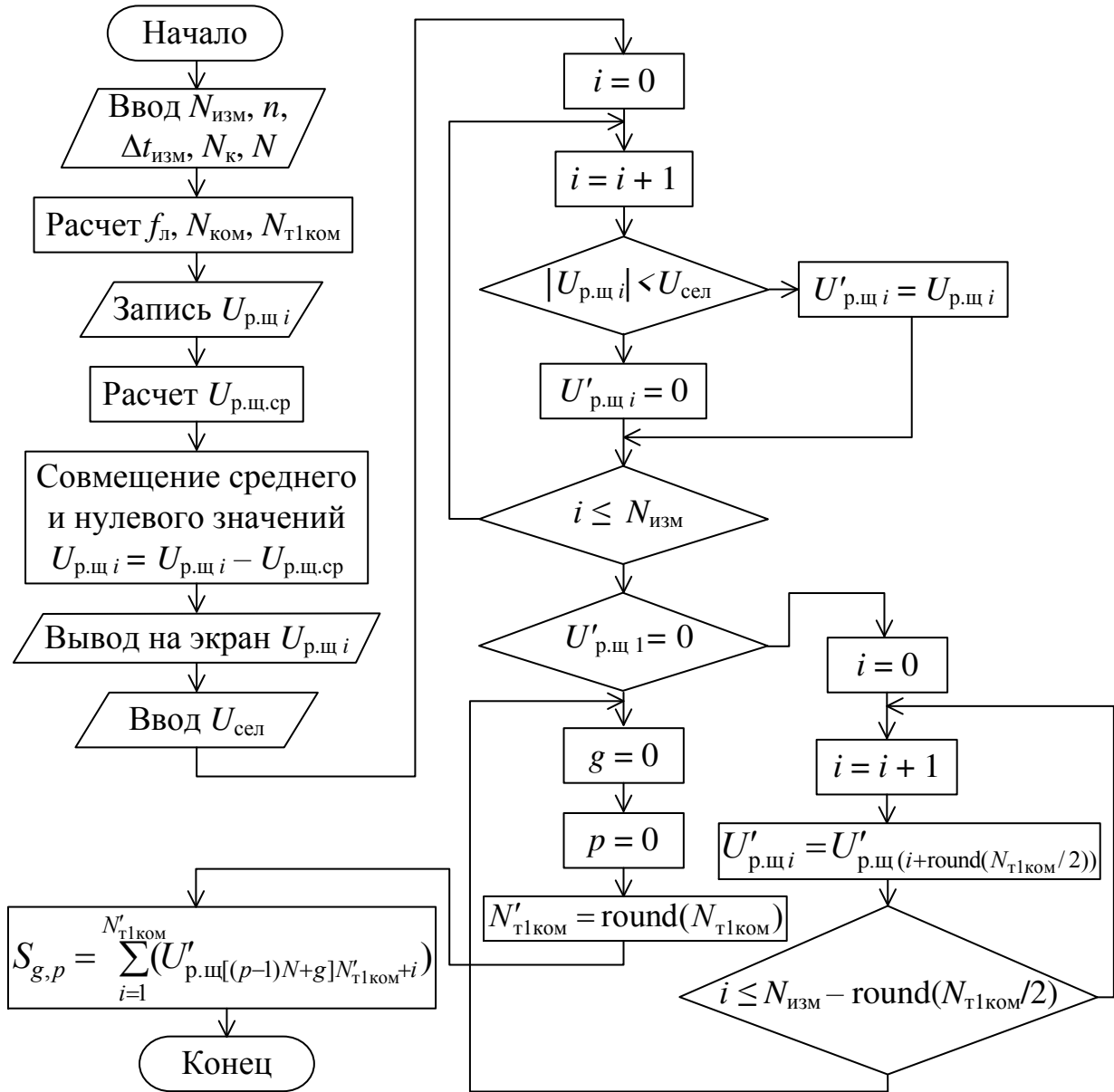


Рис. 1. Алгоритм обработки диагностического сигнала

По заданным параметрам производится расчет частоты следования коллекторных пластин, c^{-1} :

$$f_{л} = \frac{nN_k}{60}, \quad (1)$$

количества периодов коммутации, приходящихся на время измерений:

$$N_{ком} = \frac{N_{изм} \Delta t_{изм} n N_k}{60}, \quad (2)$$

количества точек, приходящихся на один период коммутации (не округленное до целого числа):

$$N_{\text{т1ком}} = \frac{60}{\Delta t_{\text{изм}} n N_{\text{к}}} . \quad (3)$$

Далее производится запись массива значений напряжения $U_{\text{р.щ}i}$, для которого вычисляется среднее значение по выражению:

$$U_{\text{р.щ.ср}} = \frac{1}{N_{\text{изм}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{изм}}} U_{\text{р.щ}i} . \quad (4)$$

Далее необходимо совместить нулевой уровень значений записанных напряжений со средним уровнем следующим образом, для чего производим переприсваивание:

$$U_{\text{р.щ}i} = U_{\text{р.щ}i} - U_{\text{р.щ.ср}} . \quad (5)$$

После сдвига среднего значения напряжений $U_{\text{р.щ}}$ к нулевому уровню, необходимо вывести их на экран прибора, чтобы оператор мог определить и задать необходимый уровень напряжения селекции $U_{\text{сел}}$. После этого производится обнуление значений всех $U_{\text{р.щ}i}$ меньших значения $U_{\text{сел}}$. В результате получаем массив $U'_{\text{р.щ}i}$.

Для учета возможности попадания первого импульса искрения на момент начала измерений, что может привести к неправильному определению значения его площади и дальнейшей ошибке при диагностировании, необходимо выполнить проверку условия:

$$U'_{\text{р.щ}1} = 0 . \quad (6)$$

В случае невыполнения условия необходимо отбросить из массива $U'_{\text{р.щ}i}$ количество точек примерно равное половине точек, приходящихся на один период коммутации, т.е. значение $\frac{N_{\text{т1ком}}}{2}$, округленное до ближайшего целого числа.

По завершении перечисленных операций над массивом напряжений вычисляются площади импульсов дуговых разрядов с группировкой их по расположению скоммутировавших секций в пазу по выражению:

$$S_{g,p} = \sum_{i=1}^{N'_{\text{т1ком}}} (U'_{\text{р.щ}[(p-1)N+g]N'_{\text{т1ком}+i}}) , \quad (7)$$

где $N'_{\text{т1ком}}$ – количества точек, приходящихся на один период коммутации, округленное до целого числа,

g – номер группы секций,
 p – номер секции в группе.

Вычисленные значения площадей импульсов искрения позволяют выполнить оценку состояния коммутации.

Разработанный алгоритм позволяет применить прибор МПКК для реализации способа диагностирования состояния коммутации [6] с применением параметров законов распределения интенсивности искрения [8].

Список литературы

1. Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту тяговых электродвигателей локомотивов. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 02 ноября 2009 г. № 2229р.
2. Электрические машины электропоездов. Общее руководство по ремонту. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2009 г. № 2731р.
3. ГОСТ 2582-2013 Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2014.
4. Харламов, В. В. Разработка цифрового прибора контроля коммутации тяговых электродвигателей подвижного состава / В. В. Харламов, Д. И. Попов, А. И. Стретенцев // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2017. – №2 (30). – С. 52 – 64.
5. Харламов, В. В. Методы и средства диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей и других коллекторных машин постоянного тока: Монография / В. В. Харламов. – Омск, 2002. – 233 с.
6. Пат. 2668996 Российская Федерация, МПК Н 01 R 39/58, Н 02 К 11/20, G 01 R 31/34. Способ диагностирования состояния коммутации коллекторных электрических машин [Текст] / В. В. Харламов, Д. И. Попов, А. И. Стретенцев; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. – № 2017143285, заявл. 11.12.2017; опубл. 05.10.2018. Бюл. № 28.
7. Харламов, В. В. Повышение достоверности диагностирования коллекторно-щеточного узла электрических машин с учетом неидентичности коммутационных циклов / В. В. Харламов, Д. И. Попов, А. П. Афонин, А. С. Огневский // Омский научный вестник. – 2016. – №4 (148). – С. 65 – 69.

8. Харламов, В. В. Диагностирование состояния коллекторно-щеточного узла машин постоянного тока в условиях приемосдаточных испытаний с учетом параметров неидентичности коммутационных циклов / В. В. Харламов, Д. И. Попов, А. П. Афонин // Омский научный вестник. – 2017. – №5 (155). – С. 66 – 71.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Харламов Виктор Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электрические
машины и общая электротехника» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: hvv-omgups@mail.ru

Попов Денис Игоревич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Электрические машины и общая
электротехника» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: popovomsk@yandex.ru

Стретенцев Андрей Игоревич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электрические машины
и общая электротехника» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: utes.gorniy@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kharlamov Viktor Vasilevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Doctor of Technical Sciences, Professor, head of
the department «Electric machines and general
electrical engineering» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: hvv-omgups@mail.ru

Popov Denis Igorevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Technical Sciences, associate
Professor, associate Professor of the department
«Electric machines and general electrical
engineering», OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: popovomsk@yandex.ru

Stretentsev Andrey Igorevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Post-graduate student of the department
«Electric machines and general electrical
engineering», OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: utes.gorniy@yandex.ru

М. А. Кузнецова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДАМИ
АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

В статье рассматривается сравнение методов диагностирования силовых трансформаторов. Показаны способы повышения достоверности и быстродействия существующих методов диагностирования трансформаторов. Приводятся возможности акустических методов диагностирования.

Ключевые слова: Высоковольтные трансформаторы, тяговое электроснабжение, диагностирование, газовая хроматография, акустический метод, частичные разряды.

Maria A. Kuznetsova

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

**RESEARCH QUALITY FUNCTIONING OF HIGH-VOLTAGE
TRANSFORMERS BY ACOUSTIC CONTROL AND GAS
CHROMATOGRAPHY**

The article discusses the diagnosing power transformers methods. Shown are ways to improve the reliability and speed of existing methods for diagnosing transformers. The possibilities of acoustic diagnostic methods are given.

Keywords: High-voltage transformers, traction power supply, gas chromatography, diagnostics, acoustic method, partial discharges.

На работу силовых трансформаторов тяговых подстанций особое влияние оказывает характер движения поездов. При движении железнодорожного транспорта она является переменной при проходе различного количества поездов с различной массой. При таком режиме эксплуатации в момент резкого увеличения мощности, отдаваемой в контактную сеть, наиболее вероятно возникновение аварийных отказов.

Отказы оборудования системы электроснабжения могут произойти мгновенно или развиваться постепенно в связи с процессами старения или развития дефектов. Так, при ближнем коротком замыкании может происходить

динамическое смещение обмоток тягового трансформатора, межвитковое замыкание и выход его из строя. Такой отказ возникающий за короткий промежуток времени, очень сложно предсказать диагностическими методами. По статистике на такие случаи приходится около третьей части всех отказов. Медленно развивающиеся во времени отказы оборудования могут быть спрогнозированы при помощи диагностических средств и предотвращены.

Для силовых трансформаторов существуют несколько десятков методов контроля, часть из них являются обязательными. Каждый из методов в основном выявляет только определенные типы дефектов, однако применение различных способов диагностики повышает их эффективность. Наиболее распространенными методами являются тепловидение и хроматографический анализ растворенных газов (ХАРГ). Методом ХАРГ выявляются локальные перегревы и разрядные процессы.

Широкое распространение в последнее время получил акустический способ обследования высоковольтного оборудования. Он основан на регистрации звуковых волн, возникающих при электрических разрядах, с помощью преобразователей, устанавливаемых, на стенках бака трансформатора. Современные ультразвуковые датчики позволяют регистрировать разрядные процессы с энергией не превышающей единиц микроджоулей.

Акустический способ диагностики отличается высоким быстродействием и позволяет локализовать место дефекта, при наличии частичных разрядов. На основании акустического метода разработаны весьма экономичные системы мониторинга высоковольтного оборудования, популярные в энергетике России и за рубежом. В 2016 г. вышел новый международный стандарт IEC/TS 62478(2016) по измерению частичных разрядов высоковольтного оборудования электромагнитным и акустическим методами [1]. В настоящее время в России проводятся работы по его внедрению на практике.

Источник электрического разряда в силовых трансформаторах и элегазовых аппаратах находится в объеме корпуса оборудования. Ультразвук, регистрируемый датчиком на поверхности корпуса, огибает ряд преград и значительно затухает по мощности.

У малогабаритных маслonaполненных объектов величина акустического сигнала примерно одинакова в любой точке поверхности. При обследовании

силовых трансформаторов это отличие более значительно, и необходимо, выполнять измерения в различных точках, и выявлять координаты области с максимальным сигналом [2].

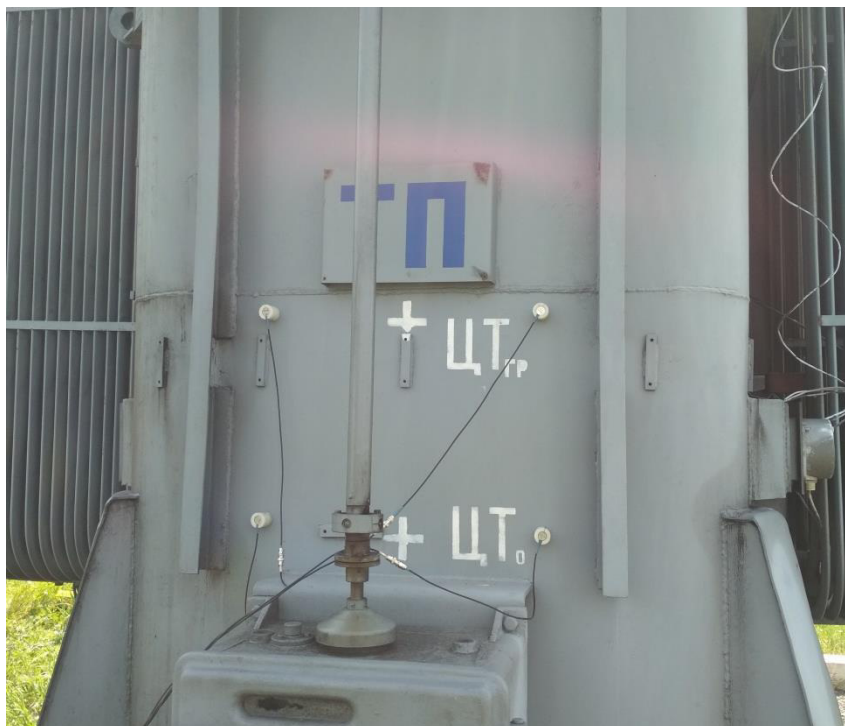


Рис. 1. Установка преобразователей акустической эмиссии

По результатам диагностирования акустическим методом могут выдаваться рекомендации по дальнейшей эксплуатации: без увеличения объема обследований; выполнение повторных измерений, при появлении дополнительных кластеров; эксплуатация с увеличенным объемом обследований, если произошло значительное увеличение количества кластеров. В этом случае определяются конкретные виды дополнительных диагностических обследований. Пример установки датчиков на корпусе трансформатора приведен на рис. 1.

Измерения выполнялись при помощи акустико-эмиссионной системы типа СЦАД-16 [2] на тяговой подстанции ЭЧЭ-210. При проведении эксперимента сравнивались сигналы частичных разрядов, имеющих характерный затухающий сигнал с сигналами, вызванными вибрацией корпуса трансформатора при прохождении поезда в непосредственной близости от места его установки. Для более четкого разграничения сигналов были проанализированы спектры сигналов, представленные на рис. 2. Частичные разряды описываются более узким спектром, что говорит о подобию амплитудных и временных параметров сигналов.

Вибрация корпуса трансформатора описывается более широким спектром с различными амплитудами и частотами их появления.

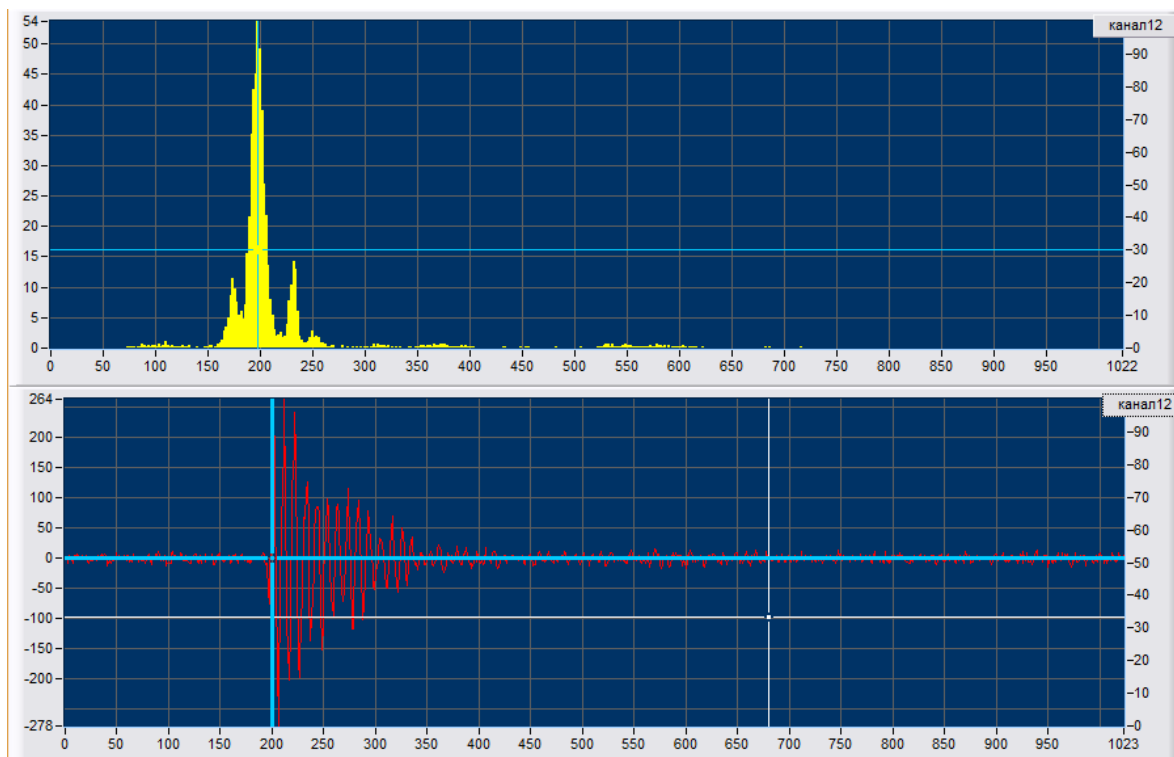


Рис. 2. Осциллограмма акустического сигнала типичного ЧР и его спектр

Для обеспечения достоверности мониторинга на основе оценки концентрации растворённых газов целесообразно использовать метод частичных разрядов. Действительно, с одной стороны установлена и даже отражена в руководящих документах взаимосвязь параметров ЧР с содержанием некоторых растворённых газов [3, 4], с другой стороны разработаны средства бесконтактного анализа ЧР на основе сопровождающего их электромагнитного сигнала. Например, электросетевыми предприятиями нашей страны широко применяются приборы и датчики ЧР компаний «*High Voltage Partial Discharge (HVPD) Ltd*» (Великобритания) и ООО «*DIMRUS*» (Россия). Однако реализовать предлагаемый способ мониторинга можно лишь при наличии устойчивых взаимосвязей между параметрами ЧР и концентрациями растворённых газов в трансформаторном масле. Для выявления названных взаимосвязей было проведено сравнение результатов хроматографического анализа растворённых газов с исследованиями ЧР.

трансформаторы на особом контроле - Microsoft Excel											
M14											
	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Оперативное наименование	Год ввода в эксплуатацию	Заводской номер	Наличие газа	Граничная концентрация	Дата отбора	Дата след. отбора	Дата отбора	Дата след. отбора	Дата отбора	Дата след.
2	наименование	эксплуатацию	номер			Результат		Результат		Результат	
3	ТП	1970	8354		без пл	07.03.2018		29.03.2018		03.08.2018	
4	ЭЧЭ-210 Мошкарь			Двуокись углерода (CO2)	0,8	0,13621		норма		0,12042	
5				Метан (CH4)	0,01	0,00185		норма		0,01314	1,3
6				Этан (C2H6)	0,005	0		норма		0	
7				Этилен (C2H4)	0,01	0,00234		норма		0,00062	
8				Ацетилен (C2H2)	0,001	0,00208		норма		0,00003	
9				Окись углерода (CO)	0,05	0,1497		норма		0,06411	1,1
10				Водород (H2)	0,01	0,00145		норма		0,063	6,3
11				Кислород (O2)	-	0,973		норма		5,18187	
12				Азот (N)	-	7,155		норма		21,93	
13			Влагосодержание	25 г/т			норма				
14			Горючие газы	0,05			норма				
15						Заключение		Заключение		Заключение	
16						Электрическая дуга, искрение. Повреждением не затронута твердая изоляция.		Снижение концентрации ацетилена до допустимых значений		Частичные разряды, искровые, дуговые разряды. Повреждением затронута твердая изоляция.	
17											
18											
19											
20											
21											

Рис. 3. Окно информационной системы контроля трансформаторов (ЭЧЭ-210)

На рис. 3 приведено окно регистрации результатов газовой хроматографии для высоковольтного трансформатора ЭЧЭ-210 в период с марта по август 2018 г. Показана динамика увеличения метана, окиси углерода, водорода, и последующее превышение этими газами порогового значения.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по обнаружению частичных разрядов на тяговых трансформаторах железных дорог постоянного тока акустическим методом и ХАРГ. Во всех экспериментах, проведенных на трансформаторах с превышением пороговых значений по данным ХАРГ регистрировались частичные разряды.

Наибольшее совпадение по результатам измерений частичных разрядов с результатами хроматографического анализа наблюдалось на понижающих трансформаторах тяговых подстанций ЭЧЭ-148 «Забулга» и ЭЧЭ-210 «Мошкарь». По результатам анализа растворенных газов система выдает заключение о наличии ЧР и повреждениях твердой изоляции (рис. 3). Дополнение имеющейся системы анализа растворенных газов акустическим методом контроля позволит повысить достоверность и быстродействие проводимого контроля.

Список литературы

1. IEC/TS 62478(2016) High voltage test techniques - Measurement of partial discharges by electromagnetic and acoustic methods. 76 p. (Стандарт МЭК Методы испытаний высоким напряжением. Измерение частичных разрядов электромагнитным и акустическим методами (Дата опубликования 29.08.2016)).
2. Кузнецов, А. А. Повышение эффективности методов диагностирования тяговых трансформаторов при увеличении массы поездов / А. А. Кузнецов, А. Ю. Кузьменко, М. А. Кузнецова // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научной конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2018. – С. 20 – 27.
3. Шахнин, В. А. Применение метода частичных разрядов для оценки концентрации растворенных газов в трансформаторном масле / Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: Материалы III всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2018. – С. 194 – 198.
4. РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования. – М.: Департамент научно-технической политики и развития РАО «ЕЭС России», АО ВНИИЭ, 1995. – 26 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кузнецова Мария Андреевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.

Телефон: 8-983-116-10-84.

E-mail: kuznetcova994@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kuznetsova Maria Andreevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Postgraduate student of the department

«Rolling stock of electric Railways» OSTU.

Phone: 8-983-116-10-84.

E-mail: kuznetcova994@gmail.com.

А. В. Никонов, В. В. Эрбес

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В связи с распространением регулируемых устройств компенсации реактивной мощности на постах секционирования электрифицированных участков переменного тока напряжением 27,5 кВ резко встает вопрос о критерии их управления. В настоящее время алгоритм их работы реализован на измеренном в точке включения напряжении. В данной статье выполнена оценка взаимосвязи различных критериев, рассматриваемых в качестве основных с целью возможности изменения алгоритма работы, и повышения эффективности регулируемых устройств компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: регулируемые устройства компенсации реактивной мощности, пост секционирования, алгоритм управления, энергетические параметры, уровень напряжения.

Andrey V. Nikonov, Viktor. V. Erbes

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia

OPPORTUNITIES FOR IMPROVEMENT OF THE ALGORITHM OF MANAGEMENT OF REGULATED DEVICES COMPENSATION OF REACTIVE POWER

In connection with the proliferation of adjustable devices for reactive power compensation at the section posts of electrified sections of alternating current with a voltage of 27.5 kV, the question of the criteria for their control is raised. Currently, the algorithm of their work is implemented on the voltage measured at the switching point. This article assesses the interrelation of various criteria considered as basic with the aim of changing the algorithm of work and increasing the efficiency of adjustable devices for reactive power compensation.

Keywords: adjustable reactive power compensation devices, post partition, control algorithm, energy parameters, voltage level.

В связи с ежегодным ростом грузооборота увеличиваются и веса поездов. В связи с этим возрастает нагрузка на систему тягового электроснабжения и, как правило, огранивающими элементами пропуска поездов повышенной массы являются устройства входящие в ее состав. С целью обеспечения пропускной способности на участках переменного тока на постах секционирования (ПС) внедряются регулируемые устройства компенсации реактивной мощности (РКУ).

В связи с особенностями управления РКУ на ПС, а именно отсутствием возможности надежного канала передачи информации суммарного

потребляемого на зоне тока от смежных тяговых подстанций, их эффективность реализована не в полной мере. В настоящее время алгоритм работы РКУ построен на сравнении измеренного значения напряжения с заданной уставкой. Исходя из этого, рассчитывается необходимый для стабилизации напряжения на уровне этой уставки генерируемый реактивный ток [1].

Напряжение является косвенным показателем изменения потребления реактивной мощности и не в полной мере отражает изменение тяговой нагрузки, а в свою очередь и потребляемой реактивной мощности. С целью выявления корреляционной взаимосвязи потребляемой на зоне реактивной мощности и других энергетических параметров, которые возможно получить непосредственно на ПС, выполнены экспериментальные измерения и анализ полученных данных.

Измерения показателей качества электроэнергии в точке подключения РКУ производились с помощью анализатора качества электроэнергии ИВК «ОМСК-М», а данные реактивной мощности, потребляемой по фидерам смежных подстанций, получены из автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии. Заблаговременно счетчики учета электроэнергии были переведены в режим минутных интервалов, а при измерении напряжения время ИВК было синхронизировано с АСКУЭ. Дискретность измерений составляет 1 минуту.

При анализе все полученные значения межфакторного коэффициента парной корреляции $r_{yx_1}, r_{yx_2}, r_{x_1x_2}$ сравниваются с r_{min} , определяемым по шкале Чеддока (табл. 1) [2].

Таблица 1

Качественная характеристика силы связи между двумя влияющими факторами (шкала Чеддока)

Диапазон коэффициента корреляции	Качественная характеристика силы связи
0,1 – 0,3	Слабая
0,3 – 0,5	Умеренная
0,5 – 0,7	Заметная
0,7 – 0,9	Высокая
0,9 – 0,99	Весьма высокая

С целью рассмотрения возможности повышения эффективности РКУ за счет изменения алгоритма управления, а именно критерия, по которому обеспечивается генерация реактивной мощности РКУ проведен анализ корреляционной взаимосвязи реактивной мощности, потребляемой на зоне с

различными энергетическими параметрами, измеренными экспериментально непосредственно в месте включения РКУ.

Кроме того с целью рассмотрения взаимосвязи между разными показателями для возможности использования двух критериев и исключения факторов с высокой степенью коррелированности и выбора взаимно дополняющих, имеющих незначительную связь рассчитана корреляционная матрица факторов [2, 3]:

$$Q_k = \begin{vmatrix} 1 & r_{yx_1} & r_{yx_2} & \dots & r_{yx_k} \\ r_{x_1y} & 1 & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_k} \\ r_{x_2y} & r_{x_2x_1} & 1 & \dots & r_{x_2x_k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_ky} & r_{x_kx_1} & r_{x_kx_2} & \dots & 1 \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где $r_{yx_i \cdot x_1x_2 \dots x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_k}$ — выборочный коэффициент корреляции между напряжением в точке включения y и критерием x_i без учета влияния других факторов $x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_k$ который определяется по формуле:

$$r_{yx_i \cdot x_1x_2 \dots x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_k} = \frac{-Q_{yx_i}}{\sqrt{Q_{yy} \cdot Q_{ii}}}, \quad (2)$$

где Q_{yx_i}, Q_{yy}, Q_{ii} — алгебраические дополнения элементов $r_{yx_i}, r_{11}=1, r_{ii}=1$ матрицы Q_k .

Корреляционная матрица позволяет оценить связь каждого из критериев с потребляемой на зоне реактивной мощностью после удаления влияния других критериев и влияние их друг на друга. Помимо уровня напряжения в точке присоединения $U_{\text{ПС}}$ были рассмотрены следующие параметры:

- $k_{U(3)}$ — значение коэффициента третьей гармоники напряжения, %.
- $k_{U(5)}$ — значение коэффициента пятой гармоники напряжения, %.
- $k_{U(7)}$ — значение коэффициента седьмой гармоники напряжения, %.
- $k_{U(9)}$ — значение коэффициента девятой гармоники напряжения, %.
- k_U — значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения, %.

Результаты расчетов коэффициентов корреляции для критериев, рассматриваемых с целью возможности изменения алгоритма управления РКУ, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициент корреляции потребляемой на зоне реактивной мощности и энергетических показателей, измеренных на посту секционирования экспериментальным путем

Критерий	$k_{U(3)}$	$k_{U(5)}$	$k_{U(7)}$	$k_{U(9)}$	k_U	$U_{\text{ПС}}$	Q
$k_{U(3)}$	1,00	0,94	0,85	0,86	0,98	-0,96	0,73
$k_{U(5)}$	0,94	1,00	0,93	0,88	0,98	-0,94	0,71
$k_{U(7)}$	0,85	0,93	1,00	0,87	0,92	-0,83	0,63
$k_{U(9)}$	0,86	0,88	0,87	1,00	0,91	-0,81	0,60
k_U	0,98	0,98	0,92	0,91	1,00	-0,95	0,72
$U_{\text{ПС}}$	-0,96	-0,94	-0,83	-0,81	-0,95	1,00	-0,77
Q	0,73	0,71	0,63	0,60	0,72	-0,77	1,00

В ходе анализа показателей качества электроэнергии в точке присоединения и их корреляционной взаимосвязи с расходом реактивной мощности на межподстанционной зоне выявлено, что наибольшая взаимосвязь между реактивной мощностью и напряжением в контактной сети (существующий критерий управления) на ПС. Ее взаимосвязь с коэффициентами n -х гармонических составляющих и суммарным коэффициентом несинусоидальности ниже. Степень коррелированности показателей качества электроэнергии между собой варьируется от высокой до весьма высокой, что говорит о нецелесообразности использования нескольких параметров в качестве критериев управления генерацией реактивной мощности РКУ.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование напряжения в качестве критерия управления генерацией реактивной мощности РКУ является наиболее эффективным из параметров, которые возможно получить путем измерения непосредственно на ПС.

Выводы. Корреляционная взаимосвязь между потребляемой реактивной мощностью на межподстанционной зоне и напряжением составляет - 0,77, что говорит о высокой степени корреляции. Однако аналогичная проверка взаимосвязи реактивной мощности и тока нагрузки, полученного при сложении токов фидеров смежных подстанций, показала их взаимосвязь равную 0,98. Ясно, что переход на управление по суммарному току на зоне и напряжению позволит значительно повысить эффективность устройства, исключив перекомпенсацию и недокомпенсацию емкостной составляющей реактивного тока. Однако в настоящее время существуют трудности в передачи данных значений. Канал GSM связи является ненадежным и недопустимым к

использованию с точки зрения безопасности, а передача по устройствам телемеханики связана с достаточно значительными капитальными вложениями, что на сегодняшний день является нецелесообразным. В связи с этим единственным возможным вариантом повышения эффективности работы РКУ при заданном алгоритме работы является изменение внешней характеристики РКУ. В связи с этим в дальнейших исследованиях планируется разработка методики выбора внешней характеристики РКУ.

Список литературы

1. Черемисин, В. Т. Сравнение энергетических показателей регулируемых устройств поперечной компенсации реактивной мощности в условиях эксплуатации на постах секционирования / В. Т. Черемисин, А. В. Никонов // Транспорт Урала. – 2018. – №1. – С. 98-104.
2. Сысоев, В. В. Парная линейная регрессия / В. В. Сысоев. – Воронеж. гос. технол. акад., 2003. – 324 с.
3. Яновский, Л. П. Введение в эконометрию: учебное пособие / Л. П. Яновский, А. Г. Буховец; под ред. Л.П. Яновского. – 2-е изд., доп. – М.: КНОРУС, – 2007. – 256 с.
4. Даугерти, К. Введение в эконометрию: Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 1999. – XIV, 4,2 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Никонов Андрей Викторович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.
Тел.: +7-929-364-42-44.
E-mail: AndrewNikonov671@ gmail. com

Эрбес Виктор Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-производственной лаборатории «Энергосберегающие технологии и электромагнитная совместимость» ОмГУПС.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikonov Andrey Viktorovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Postgraduate student of the department «Rolling Stock of Electric Railways» OSTU.
Phone: +7-929-364-42-44.
E-mail: AndrewNikonov671@ gmail. com

Erbes Viktor Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, senior researcher of research-and-production laboratory «Energy-efficient technologies and electromagnetic compatibility» OSTU.

А. А. Кузнецов, К. Е. Григоришин

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассмотрен метод выявления дефектов изоляции высоковольтного оборудования, а также аппаратура для обеспечения акустико-эмиссионного контроля. Описан эксперимент акустико-эмиссионного контроля тягового трансформатора на предмет наличия частичных разрядов. Сделаны выводы о работе исследуемого трансформатора и целесообразности дальнейших исследований данного метода на трансформаторах электропоездов переменного тока.

Ключевые слова: подвижной состав, тяговый трансформатор, изоляция, частичный разряд, акустико-эмиссионный контроль.

Andrey A. Kuznetsov, Konstantin E. Grigorishin

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

ACOUSTIC EMISSION CONTROL OF INSULATION OF HIGH VOLTAGE EQUIPMENT

The paper dwells on the method of insulation defects detection that may occur at high voltage equipment, as well as on equipment for acoustic emission control. Also it describes the experiment of acoustic emission control which was conducted on a traction transformer for the presence of partial discharges. Based on the empirical results we can conclude about the work of the transformer and the practicability of further research on the transformers of AC electric locomotives.

Keywords: railway rolling stock, traction transformer, insulation, partial discharge, acoustic emission monitoring.

Одной из главных задач на железной дороге является обеспечение безопасной эксплуатации сложных технических объектов ответственного назначения. В общем случае прочность элементов конструкций и машин, а также их ресурс задаются на стадии разработки и проектирования. Однако, в процессе эксплуатации в материале деталей накапливаются усталостные повреждения, которые на начальной стадии развития не обнаруживаются

средствами магнитного, вихретокового и ультразвукового контроля. Вопрос о безопасной эксплуатации таких деталей может быть решен только с использованием средств неразрушающего контроля (НК), чувствительных к малозначительным развивающимся дефектам. В связи с этим задача выявления растущих трещин, в том числе находящихся на начальной стадии развития, представляется особенно актуальной. Для решения такой задачи хорошо зарекомендовал себя интегральный метод обследования на основе явления акустической эмиссии (АЭ). Важным достоинством представленного метода является прямая связь информативных параметров сигналов АЭ с процессами разрушения, не свойственная традиционным методам. Это позволяет получать непосредственную информацию о стадии развития и скорости роста.

Аппаратурой, для обеспечения акустико-эмиссионного контроля является устройство, обеспечивающее прием, обработку и регистрацию сигналов АЭ. Вся современная АЭ аппаратура изготавливается на базе компьютерной техники и чаще всего встраивается в компьютер. Такой аппаратурой являются, как правило, универсальные системы, пригодные для контроля различных объектов. Часть АЭ систем представляют самостоятельные приборы с элементами микропроцессорной техники. Такие системы решают задачи контроля конкретных видов объектов и имеют устройства сопряжения с персональными компьютерами.

Для обнаружения дефектов изоляции высоковольтного оборудования применялась установка СЦАД-16, представляющая собой измерительную плату, размещенную в корпусе персонального компьютера, к которой подключается 4 акустических датчика (с возможностью расширения до 16). Длина соединительных кабелей датчиков составляет 10 м. (максимальная длина 100 м.). Принцип действия установки СЦАД-16 основан на зонной локализации - методе обнаружения различных дефектов и расстояний до них с помощью упругих волн. Излучение упругих волн возникает в процессе перестройки внутренней структуры твердых тел - акустическая эмиссия. Расчет координат дефектов основывается на определении разности времени прихода сигналов АЭ на преобразователи акустической эмиссии.

С помощью установки СЦАД-16 был проведен эксперимент на вводном трансформаторе тяговой подстанции ЭЧЭ-148 «Забулга». Акустический контроль

на предмет наличия частичных разрядов выполнен на тяговом трансформаторе ТП типа ТДРУНГ мощностью 20 МВА (постоянно находится в работе).

Измерения выполнялись со станционной (северной), восточной и южной стороны при прохождении поезда и на холостом ходу. Всего выполнено 12 измерений со временем записи сигналов от 30 до 60 секунд. На рис. 1 приведен рисунок трансформатора и места установки первичных преобразователей. Четыре измерительных преобразователя (датчика) устанавливались на стенку трансформатора, образуя собой акустическую антенну. По разности времен прихода сигнала возможно определение координат источника частичных разрядов.



Рис. 1 Расположение датчиков на корпусе трансформатора

За время измерения 68 с. было зарегистрировано 773 частичных разряда. По форме сигнала частичные разряды соответствуют сигналам, описываемых в публикациях других исследователей, например [1].

Суммарный счет сигналов представлен на рис. 2, где по горизонтальной оси – время в с., по вертикальной оси – накопленное количество сигналов. Из рис. 2 видно, что частичные разряды следуют с равномерной скоростью, немного меньшей на начальном участке 0 – 10 с.

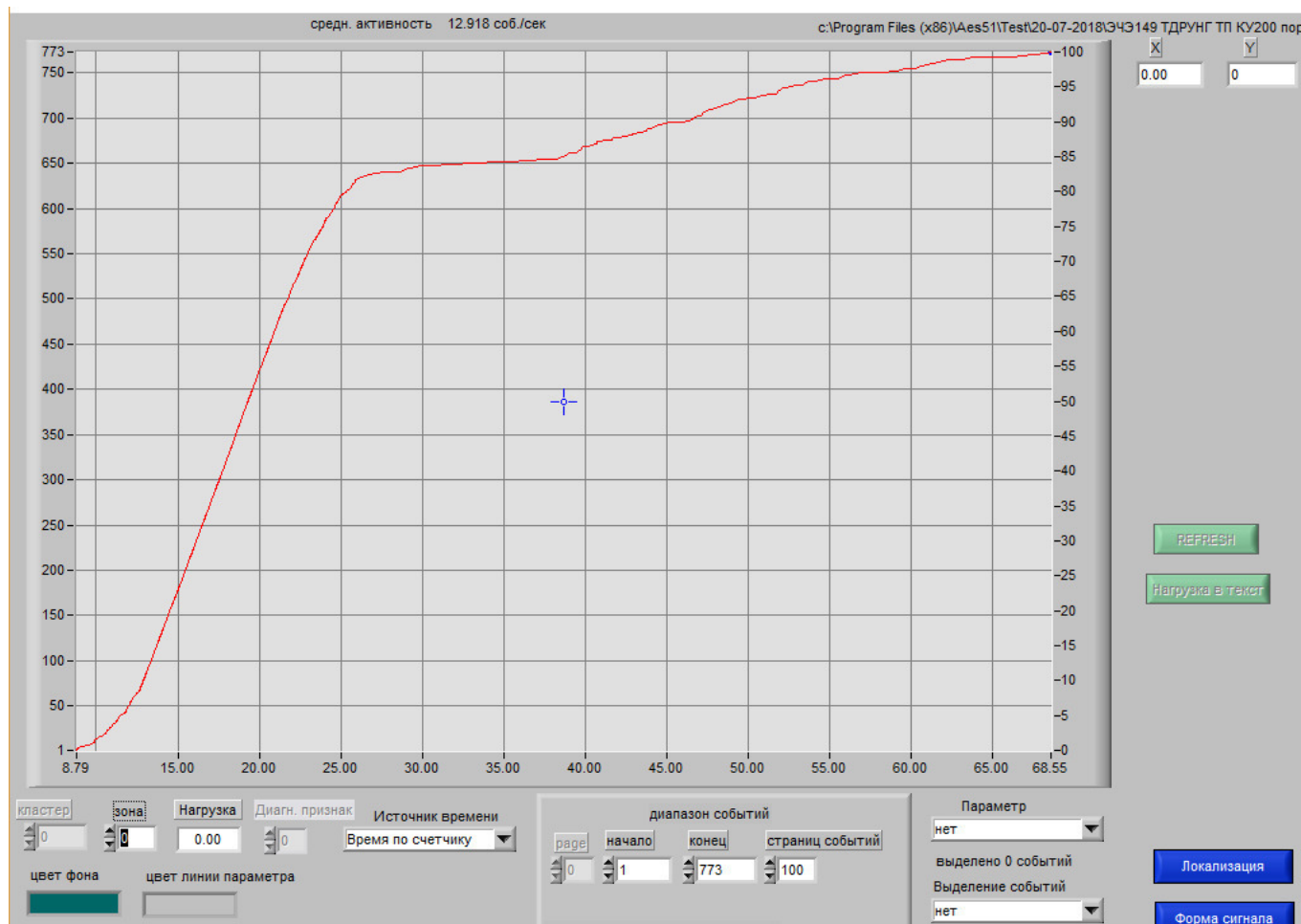


Рис. 2 Суммарный счет сигналов

Сигналы частичных разрядов регистрируются преобразователями акустической эмиссии (ПАЭ) по 12 и 15 каналам (рис. 3), что говорит о том, что источник ЧР может находиться слева от места установки ПАЭ.

При прохождении поезда частичные разряды присутствуют, но частота их следования снизилась 11 событий в секунду по сравнению с 39 событиями в секунду без поезда. Средняя амплитуда частичных разрядов увеличилась со 170 до 250 (ед. АЦП). Сигналы частичных разрядов и проходящего поезда можно отличить по форме (рис. 3).

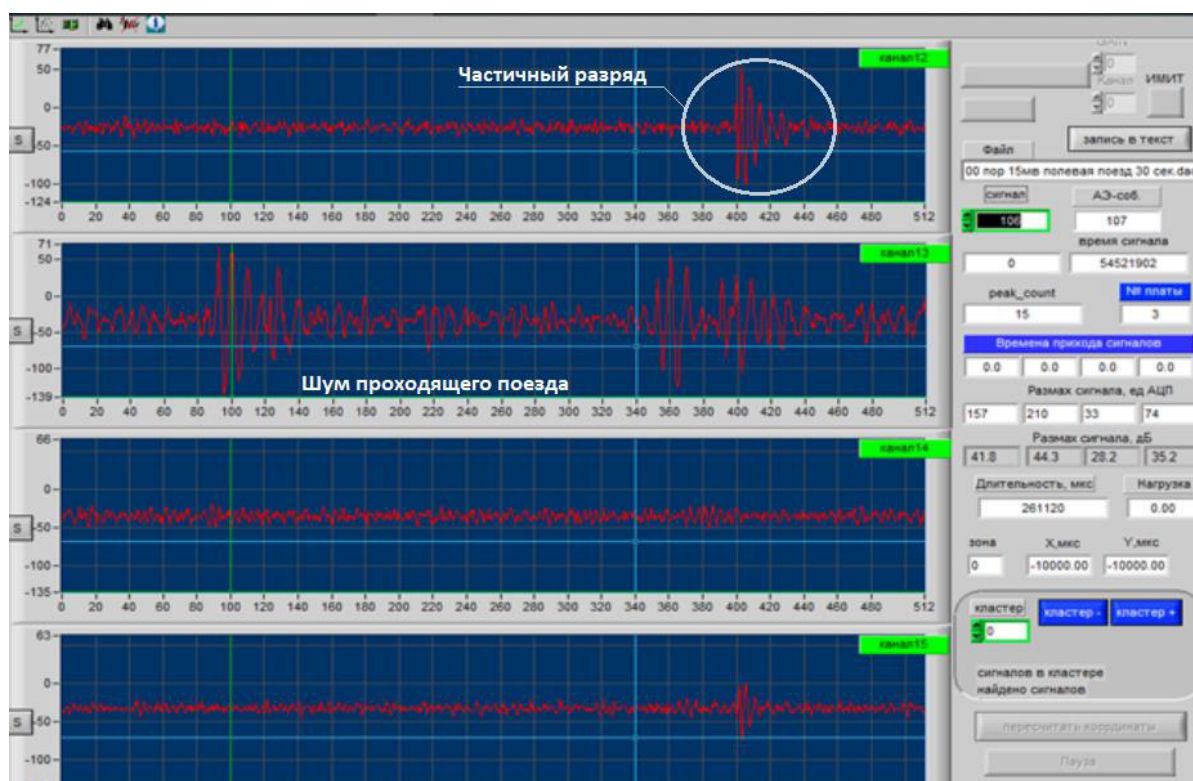


Рис. 3 Форма сигнала

Спектр сигнала, содержащий высокочастотные ЧР и низкочастотные колебания от проходящего поезда представлены на рис. 4. Спектр является широким по изменениям амплитуды. Амплитуда частичного разряда значительно больше амплитуды шума проходящего поезда.

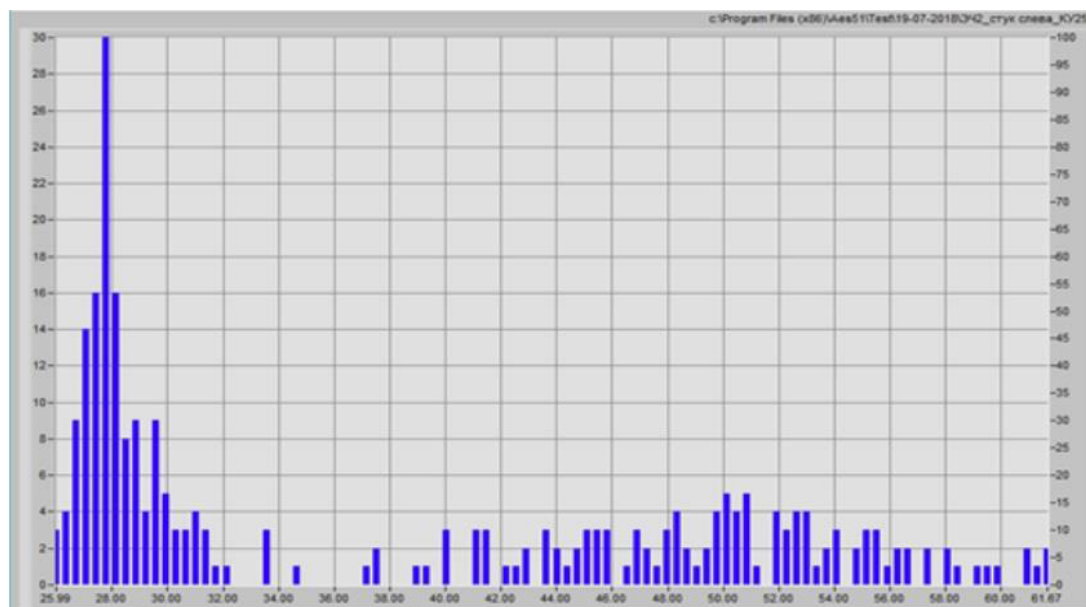


Рис. 4 Спектр сигналов

Из результатов проведенного эксперимента следует, что при помощи метода акустической эмиссии возможна регистрация частичных разрядов, регистрация их количества в единицу времени, регистрация амплитуд и формы сигналов. По каждому событию возможен визуальный анализ, подтверждающий наличие именно ЧР и их параметров. Кроме того, по разности времени прихода сигналов к датчикам акустической антенны, установленных на корпусе трансформатора, возможно установление координат предполагаемого места возникновения ЧР.

Выводы:

1. Установка регистрации акустических сигналов СЦАД-16 с штатным программным обеспечением позволяет регистрировать частичные разряды (ЧР), колебания корпуса трансформатора и определять количественные характеристики ЧР и колебаний.

2. На тяговом трансформаторе ТП ЭЧЭ-148 «Забулга» выявлены частичные разряды, причиной которых является ухудшение изоляционных свойств обмоток, находящихся под действием высокого напряжения.

3. При прохождении поезда амплитуда частичных разрядов увеличивается, а частота их следования уменьшается.

6. Дальнейшие испытания с целью уточнения порогов нормальной работы и предаварийного режима [2, 3] следует выполнить на большем количестве трансформаторов, в том числе на трансформаторах электровазов переменного тока, и сравнения полученных результатов с данными хроматографического анализа.

7. Для калибровки установки СЦАД-16 при регистрации ЧР различного уровня целесообразно выполнить измерения на корпусе прибора типа «Скат-М100В», находящегося в эксплуатации ЭЧ-2 для определения изоляционных свойств образцов трансформаторного масла.

Список литературы

1. Чуличков, А. И. Классификация акустических сигналов разрядных процессов в изоляции на основе формы их вейвлет-спектров / А. И. Чуличков, Н. Д. Цыбульская, С. К. Цветаев, О. С. Сурконт // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. – 2009. – № 2. – С. 103-105.

2. Карандаев, А. С. Диагностирование силовых трансформаторов методом локации частичных разрядов / А. С. Карандаев, С. А. Евдокимов, Д. Х. Девятов, Б. Н. Парсункин, А. А. Сарлыбаев / Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2012. – №1. – С. 105-108.

3. Кузнецов, А. А. Повышение эффективности методов диагностирования тяговых трансформаторов при увеличении массы поездов / А. А. Кузнецов, А. Ю. Кузьменко, М. А. Кузнецова // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научной конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2018. – С. 20 – 27.

4. ГОСТ 27655–88. Акустическая эмиссия. Термины, определения и обозначения.

5. Акустико-эмиссионная диагностика конструкций / А. Н. Серьезнов [и др.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 280 с

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Андрей Альбертович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доктор технических наук, профессор,
Заведующий кафедрой «Теоретическая
электротехника» ОмГУПС.
E-mail: kuznetsovaa.omgups@gmail.com

Григоршин Константин Евгеньевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Теоретическая
электротехника» ОмГУПС.
E-mail: kosfreefly@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey Albertovich Kuznetsov

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Doctor in Technical Sciences, Professor, the
head of the department « Theoretical electrical
engineering » OSTU.
E-mail: kuznetsovaa.omgups@gmail.com

Grigorishin Konstantin Evgenevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Postgraduate student of the department
«Theoretical electrical engineering» OSTU.
E-mail: kosfreefly@mail.ru

А. Ж. Еркебаев

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НЕТЯГОВЫЕ НУЖДЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В статье рассмотрены различные подходы к оценке эффективности использования электроэнергии на нетяговые нужды железнодорожного транспорта. Описаны разные методики планирования электропотребления на нетяговые нужды структурных подразделений филиалов ОАО «Российские железные дороги».

Ключевые слова: нетяговое электроснабжение, методы планирования, статистические методы, подсистема, энергообследование.

Aibek J. Yerkebayev

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

THE ANALYSIS OF METHODS OF ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF USE OF THE ELECTRIC POWER FOR NONTRACTION NEEDS OF RAILWAY TRANSPORT

In the article discussion different approaches to methods for assessing the efficiency of electricity use for non-traction needs of rail transport. Various methods of planning electricity consumption for non-hauling needs of the structural units of the branches of JSC «Russian Railways» are described.

Keywords: non traction power supply, planning methods, statistical methods, subsystem, power inspection.

В настоящее время одной из приоритетных задач, декларируемых «Энергетической стратегией холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года» [1], является повышение показателей энергетической эффективности основных бизнес-блоков холдинга. При этом в рамках электросетевого комплекса должны обеспечиваться надежность электроснабжения тяговых и нетяговых потребителей,

участвующих в обеспечении перевозочного процесса, дальнейшее снижение себестоимости перевозок и потребления электрической энергии, снижение уровня технологических и коммерческих потерь электрической энергии.

Одной из задач, которые необходимо решить для достижения поставленных в [1] целей, является достоверная оценка эффективности использования электроэнергии на нетяговые нужды железнодорожных потребителей. Решение указанной задачи может быть осуществлено различными методами:

- 1) методы экспертных оценок;
- 2) методы стохастического моделирования;
- 3) инструментальные методы контроля.

Первая группа методов [2 – 4] основана на разработке компетентными экспертами системы балльной оценки уровня рационального потребления электроэнергии на предприятии и, в соответствии с ней, общая оценка состояния электропотребления.

Метод балльной оценки предназначен для определения количественной оценки уровня рациональности потребления электроэнергии на предприятиях железнодорожного транспорта. Работы по оценке эффективности потребления электрической энергии проводятся специально созданной комиссией. Она включает в себя представителей предприятия в лице главного инженера и ответственного за электрохозяйство, представителей организации, выполняющей оценку рациональности потребления электрической энергии на предприятии, а также могут быть привлечены представители энергоснабжающих организаций.

Основные задачи, решаемые при реализации данного подхода:

- анализ состояния учета, контроля и нормирования потребления электроэнергии на предприятии;
- оценка эффективности использования электроэнергии по направлениям использования;
- оценка организации и проведения работ по повышению эффективности использования электроэнергии.

Балльная оценка рациональности потребления электроэнергии выставляется по двадцати показателям, разделенным по трем направлениям в соответствии с поставленными задачами.

Выставляемые общие оценки состояния электропотребления, полученные, предприятиями могут варьироваться от «неудовлетворительно» до «отлично».

Наряду с указанной методикой, разработаны и другие методики балльной оценки уровня рациональности потребления энергоресурсов для других хозяйств железнодорожного транспорта. Специализация методик оценки уровня рациональности потребления электроэнергии по хозяйствам обусловлена различиями в составе электрооборудования и характером его использования по предприятиям различных хозяйств дороги.

Аналогичные методики могут быть разработаны и для других видов топливно-энергетических ресурсов [5]

Вторая группа – математико-статистические методы сбора и обработки данных [6 – 12], позволяющие создать систему контроля удельного расхода электроэнергии на выпуск единицы продукции.

Контроль рационального использования электроэнергии на границах железной дороги сводиться к анализу результатов исполненного за истекший месяц потребления электроэнергии по видам движения, службам, предприятиям и т.д.

Для обеспечения оперативного и полного контроля приема, распределения и потребления электроэнергии разработаны системы мониторинга потребления и потерь электроэнергии в границах железной дороги, включающая в себя следующие подсистемы:

- подсистема контроля потребления электроэнергии в сетях нетягового электроснабжения железной дороги;
- подсистема контроля потерь электроэнергии в сетях нетягового электроснабжения железной дороги;
- подсистема контроля расхода электрической энергии на эксплуатационные нужды.

Вышеуказанные подсистемы информационных моделей позволяют обеспечить сбор исходной информации для определения контролируемых величин.

Каждая из подсистем мониторинга потребления и потерь электроэнергии включает в себя набор основных и дополнительных информационных параметров. Если основные информационные параметры обеспечивают

возможность определения количественных значений контролируемых параметров, то дополнительные информационные параметры обеспечивают проведение оценки контролируемых параметров и выявление факторов, воздействующих на контролируемые параметры.

Каждая подсистема должна иметь комплекс управляющих воздействий организационных и технических мероприятий, позволяющих регулировать значения контролируемых параметров или компенсировать влияние внешних воздействующих факторов.

Описанные информационные модели в полной мере могут обеспечить работу систем контроля расхода и потерь электроэнергии на эксплуатационные нужды.

Качественным показателем использования электроэнергии на железнодорожном транспорте является удельный расход энергии на эксплуатационные нужды на измеритель перевозочной работы – кВт·ч на 10000 ткм брутто.

Контроль и управление потреблением ТЭР на предприятиях железнодорожного транспорта может быть получены, за счет организации автоматизированных систем управления энергоресурсами (АСУ ТЭР).

Внедрение системы управления потреблением энергоресурсов для стационарных объектов железнодорожного транспорта должно быть организовано по принципу многоуровневой структуры «технологический объект – структурное подразделение – железнодорожный узел – территориальное управление – железная дорога». На каждом уровне решаются свои технологические и коммерческие задачи, происходит обмен информацией с выше- и нижестоящими уровнями системы, создается база данных, в которой производится хранение и обработка собранной информации.

Третья – проведение инструментальных обследований в ходе энергетического обследования электрохозяйства структурных подразделений железнодорожного транспорта [3, 13 – 16].

Одним из ключевых решений в области повышения энергоэффективности использования топливно-энергетических ресурсов является проведение энергетических обследований.

Основными целями энергетического обследования являются:

- получение объективных данных об объеме используемых энергетических ресурсов;
- определение показателей энергетической эффективности;
- определение потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- разработка перечня энергосберегающих мероприятий.

В настоящее время существует значительное количество методических пособий о порядке проведения энергетического обследования. Однако эти методики не учитывают в полной мере специфики работы железнодорожного транспорта, в первую очередь это касается вопросов энергетического обследования тяги поездов. Специфика потребления электрической энергии на железнодорожном транспорте обусловлена распределенной вдоль железнодорожных магистралей структурой пунктов приема и потребления электроэнергии, наличием специфических типов электропотребления.

Анализируя процесс энергопотребления на железнодорожном транспорте необходимо учитывать одновременность протекания перевозочного процесса и ремонтно-эксплуатационной деятельности нетяговых потребителей. Поэтому рассматривая проблему повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов целесообразно применение комплексного подхода при проведении работ по энергетическому обследованию.

Проведение энергетического обследования электрохозяйства железной дороги включает в себя обследование двух комплексов:

- электрическая тяга поездов (система тягового электроснабжения и электроподвижной состав);
- стационарная электроэнергетика (система нетягового электроснабжения и стационарные предприятия железнодорожного транспорта).

По итогам проведения энергетического обследования электропотребления по отдельным объектам дороги определяется интегральная оценка уровня рациональности использования электроэнергии на тягу поездов и нетяговые нужды железной дороги.

Выводы.

Проведенный анализ методов оценки эффективности использования электроэнергии показал, что эвристические методы имеют достаточно высокую

погрешность прогнозирования, что обычно обусловлено спецификой опыта и суждений экспертов, привлекаемых к разработке того или иного метода.

Опираясь на результаты инструментальных обследований, выполняемых при проведении энергетического обследования, которое выполняется раз в пять лет, слишком затратно, так как измерения необходимо будет выполнить на объектах около 2300 структурных подразделений, входящих в ОАО «РЖД».

Соответственно, наиболее перспективным для оценки эффективности использования электроэнергии на нетяговые нужды является вторая группа методов, основанных на математическом анализе статистических данных об объемах электропотребления и выполняемой в каждом структурном подразделении эксплуатационной работы, с перспективой автоматизации данного процесса и детализацией до каждого технологического объекта структурных подразделений.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2016 г. № 2537р. 76 с.

2. Черемисин, В. Т. Система контроля и оценки уровня рациональности потребления электрической энергии на предприятиях Омского отделения Западно-Сибирской железной дороги / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, Д. В. Пашков, И. И. Галеев // Ресурсосберегающие технологии на предприятиях Западно-Сибирской железной дороги: Материалы научно-практической конференции / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2001. – С. 31 – 39.

3. Никифоров, М. М. Система анализа потерь и рационального потребления электрической энергии на эксплуатационные нужды железной дороги / М. М. Никифоров // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2002. – 233 с.

4. Черемисин, В. Т. Балльная оценка энергоэффективности предприятий хозяйства электроснабжения / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, И. И. Галеев // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Материалы Всероссийской науч.-техн. конф., посвященной 125-летию Свердловской железной дороги: в 3-х т. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2003. – Т. 1. – С. 303 – 305.

5. Черемисин, В. Т. Методика балльной оценки уровня рациональности потребления тепловой энергии предприятиями железнодорожного транспорта / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, И. И. Галеев // Энергосбережение и энергетика в Омской области: Официальное издание региональной энергетической комиссии Омской области.— Омск. — 2004. — № 2 (11). — С. 105 – 107.

6. Разработка информационных моделей для контроля и анализа потребления и потерь электроэнергии в границах железной дороги / В. Т. Черемисин, В. Н. Зажирко и др. // Сб. науч. статей / Омский гос. ун-т путей сообщения. — Омск, 2002. — С. 56 – 69.

7. Анализ и систематизация составляющих расхода электроэнергии на эксплуатационные нужды предприятий железной дороги / В. Т. Черемисин, В. Н. Зажирко и др. // Энергосбережение и энергетика в Омской области: Официальное издание региональной энергетической комиссии Омской области. — Омск. — 2003. — № 3 (8). — С. 64 – 69.

8. Разработка подсистемы анализа и систематизации составляющих расхода электроэнергии на эксплуатационные нужды в общей системе мониторинга потребления и потерь электроэнергии / В. Т. Черемисин, В. Н. Зажирко и др. // Исследование процессов взаимодействия объектов железнодорожного транспорта с окружающей средой: Сб. науч. статей / Омский гос. ун-т путей сообщения. — Омск. — 2003. — С. 174 – 185.

9. Черемисин, В. Т. Проект организационной структуры управления энергоресурсами на железнодорожном транспорте / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров // Ресурсосберегающие технологии на обособленных подразделениях Западно-Сибирской железной дороги: Материалы науч.-практ. конф. :Под ред. В. Т. Черемисина / Омский гос. ун-т путей сообщения. — Омск, 2004. — С. 29 – 36.

10. Зажирко, В. Н. Принципы построения АСУ ТЭР / В. Н. Зажирко, М. М. Никифоров, Д. В. Пашков, В. Т. Черемисин // Железнодорожный транспорт. — 2005.— № 11. — С. 23 – 25.

11. Пашков. Д. В. Методика анализа и планирования расхода электрической энергии на нетяговые нужды железнодорожного транспорта / Д. В. Пашков, А. А. Комяков, М. М. Никифоров // Энерго- и ресурсосбережение в структурных подразделениях Западно-Сибирской железной дороги: Материалы научно-практической конференции / Омский гос. ун-т путей сообщения. — Омск, 2008. — С. 127 – 131.

12. Черемисин, В. Т. О комплексном подходе к анализу и контролю энергетической эффективности структурных подразделений железнодорожного транспорта / В. Т. Черемисин, А. А. Комяков, В. И. Иванченко // Известия Транссиба. – Омск. – 2016. – С. 134 – 142.

13. Черемисин, В. Т. Технология проведения комплексного энергетического обследования электрохозяйства железнодорожного транспорта / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, Т. Е. Никишкин // Омский научный вестник. – Омск. – 2006. – № 5 (39). – С. 101 – 105.

14. Никифоров, М. М. Особенности проведения энергетического обследования объектов ОАО «Российские железные дороги» // Энергоэффективность: матер. Междунар. науч.-практ. конф. / Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – С. 191 – 194.

15. Каштанов, А. Л. Особенности проведения энергетических обследований дистанций электроснабжения-структурных подразделений железных дорог - филиалов ОАО «Российские железные дороги» / А. Л. Каштанов, А. А. Комяков, М. М. Никифоров // Омский научный вестник. – 2010. – № 3 (93). – С. 148 – 151.

16. Каштанов, А. Л. Особенности проведения повторного энергетического обследования объектов ОАО «Российские железные дороги» / А. Л. Каштанов, М. М. Никифоров, А. А. Комяков // Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем: Материалы второй науч.-практич. конф. / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 165 – 171.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Еркебаев Айбек Жомартович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Аспирант кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта»

Тел.: 8 (960) 989-13-12

E-mail: yerkebayev.a@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Yerkebayev Aibek Jomartovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Post-graduate student of the department

«Electric power supply of railway transport»

Phone: 8 (960) 989-13-12

E-mail: yerkebayev.a@mail.ru

И. В. Присухина, Д. В. Борисенко, С. А. Лунёв

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ МНОГОЧЛЕНОВ ЭРМИТА

Автоматическая классификация состояния электрической рельсовой цепи возможна за счет применения алгоритмов машинного обучения. Работы в этом направлении ведутся учеными с 1989 года, когда впервые Е.М. Тарасовым было предложено применение теории распознавания образов. В последнее десятилетие методы машинного обучения и средства их реализации получили существенное развитие, что позволяет пересмотреть некоторые подходы к решению задачи классификации состояния рельсовой цепи. В этой статье мы предлагаем модифицированный алгоритм классификации состояния рельсовой цепи на основе ортогональных полиномов Эрмита, упрощающий реализацию классификатора за счет применения стандартных алгоритмов машинного обучения и специализированных программных средств.

Ключевые слова: рельсовая цепь, машинное обучение, многочлены Эрмита, сигмоидальная функция, среда Octave.

Ilena V. Prisukhina, Dmitry V. Borisenko, Sergey A. Lunev

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

ON THE PROBLEM OF TRACK CIRCUIT STATE CLASSIFICATION USING THE ORTHOGONAL HERMITE POLYNOMIALS

Automatic classification of a track circuit state can be implemented using machine learning algorithms. Research in this area has been conducted since 1989. First track circuit state classification algorithm based on the image recognition theory was proposed by E.M. Tarasov. Last decade saw an intensive development of machine learning techniques and special software tools. This creates some basis for improvement of the originally proposed algorithm for track circuit state classification. In the article, we propose a modified track circuit state classification algorithm based on the orthogonal Hermite polynomials which significantly simplifies the development of a classifier. We achieve this simplification by using modern machine classification techniques and special publically available software libraries.

Keywords: track circuit, machine learning, Hermite polynomials, sigmoid function, Octave.

В настоящее время на железнодорожном транспорте главным источником информации о состоянии участка пути (свободен, занят, поврежден) является рельсовая цепь. Данное устройство функционирует в трех режимах – нормальный, шунтовой и контрольный [1], каждый из которых отражает соответствующее

состояние участка пути. Важным требованием при функционировании рельсовой цепи является своевременная и корректная классификация ее режима работы, напрямую влияющая на безопасность движения поездов [2].

Известно много подходов к решению данной задачи [1], [3], [4]: классификация режима по относительному изменению уровня выходного напряжения рельсовой цепи, на основе измеренного на повышенной частоте тока входного сопротивления и др.

С учетом современного уровня развития вычислительной техники, перспективными являются методы классификации режима работы рельсовой цепи, основанные на машинном обучении. Впервые, машинная классификация режима работы рельсовой цепи на основе алгоритмов распознавания образов с использованием множества информативных признаков и полиномиальных решающих функций предложена в работах [5], [6].

В работах [6], [7] для построения функций, определяющих режим работы рельсовой цепи, (далее – решающие функции), применены ортогональные полиномы, в частности, полиномы Эрмита. Классификация режима работы рельсовой цепи производится за счет сравнения значений решающих функций, вычисленных по заданной совокупности ее электрических параметров, с предельными показателями для каждого режима.

Применение методов, предлагаемых авторами [6], [7], осложняется отсутствием стандартных и высокопроизводительных программных средств, позволяющих решить задачи формирования вида решающих функций (обучения классификатора) и принятия решения при классификации. В частности, на этапе обучения классификатора затруднительными представляются предварительный расчет показателей режимов, последующее решение системы несовместных уравнений решающих функций, адаптация полученных в результате обучения коэффициентов с использованием потенциальных функций и кумулятивных сумм [6]. Программная реализация и отладка этапа обучения связаны со значительными затратами времени.

С развитием алгоритмов машинного обучения в настоящее время решение задач классификации данных значительно упрощается [8]–[10]. Это обусловлено, во-первых, доступностью специализированных программных средств, обладающих высокой производительностью, а во-вторых, глобальной информатизацией всех отраслей деятельности человека, и железнодорожного комплекса в частности.

Следовательно, совершенствуя существующие методы классификации режима работы рельсовой цепи, как объекта железнодорожной инфраструктуры, с учетом современного уровня развития средств машинного обучения, можно избавиться от трудоемких, зачастую нетривиальных, вычислительных процедур, что, в свою очередь, позволит существенно повысить эффективность и упростить разработку классификаторов. Для этого предлагается модифицировать алгоритмы классификации состояния рельсовой цепи предложенные в [6], [7], изменив принцип принятия решения по значению решающей функции.

Граница принятия решения, обеспечивающая разделение классов в пространстве электрических параметров рельсовой цепи (далее – векторы признаков), описывается формулой (1), которая аналогична той, что использована авторами [6], [7]. Формула (1) может быть записана в векторной форме (2), если принять что $\varphi_0(\mathbf{x}) = 1$.

$$z_w(\mathbf{x}) = w_0 + w_1\varphi_1(\mathbf{x}) + w_2\varphi_2(\mathbf{x}) + \dots + w_k\varphi_k(\mathbf{x}), \quad (1)$$

$$z_w(\mathbf{x}) = \boldsymbol{\varphi}(\mathbf{x})\mathbf{w}^T, \quad (2)$$

где $\boldsymbol{\varphi}(\mathbf{x})$ – вектор-функция, осуществляющий полиномиальное преобразование над исходным вектором признаков $\mathbf{x}$ по заданному закону,

$\mathbf{w}^T$ – транспонированный вектор весовых коэффициентов.

По аналогии с [7] в качестве закона для $\boldsymbol{\varphi}(\mathbf{x})$ используем ортогональное преобразование Эрмита, которое осуществляет увеличение исходной размерности n вектора признаков до размерности k [11]. В качестве образующих полиномов выберем многочлены первого, второго и третьего порядков (3).

$$H_1(x) = 2x; H_2(x) = 4x^2 - 2; H_3(x) = 8x^3 - 12x. \quad (3)$$

Для двумерного пространства признаков ($n = 2$), то есть при $\mathbf{x} = \{x_1, x_2\}$, полная система ортонормированных k -функций может быть представлена в виде (4).

$$\begin{aligned} \varphi_1(\mathbf{x}) &= H_1(x_1) \cdot H_1(x_2), \\ \varphi_2(\mathbf{x}) &= H_1(x_1) \cdot H_2(x_1), \\ \varphi_3(\mathbf{x}) &= H_1(x_1) \cdot H_3(x_2), \\ \varphi_4(\mathbf{x}) &= H_2(x_1) \cdot H_1(x_2), \\ \varphi_5(\mathbf{x}) &= H_2(x_1) \cdot H_2(x_2), \\ \varphi_6(\mathbf{x}) &= H_2(x_1) \cdot H_3(x_2), \\ \varphi_7(\mathbf{x}) &= H_3(x_1) \cdot H_1(x_2), \\ \varphi_8(\mathbf{x}) &= H_3(x_1) \cdot H_2(x_2), \\ \varphi_9(\mathbf{x}) &= H_3(x_1) \cdot H_3(x_2). \end{aligned} \quad (4)$$

В отличие от метода, реализованного в [6], [7], решение о принадлежности вектора признаков к определенному режиму предлагается принимать так же, как и при классификации методом логистической регрессии [12], с использованием сигмоидальной функции (5), которая с учетом (2) имеет вид (6).

$$h(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}; \quad (5)$$

$$h_w(\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + e^{-\varphi(\mathbf{x})\mathbf{w}^T}}. \quad (6)$$

Значения функции (6) принадлежат диапазону [0,1]. Это обстоятельство позволяет интерпретировать результат расчета как вероятность принадлежности вектора признаков к классу [8], [13], [14]. Для принятия решения о принадлежности вектора признаков к классу применяется простой критерий – значение функции (6) для этого вектора должно составлять 0,5 и более.

С учетом предложенной модификации, обучение классификатора режима работы рельсовой цепи выполняется путем минимизации функции ошибки (7), что может быть выполнено стандартными методами, реализованными множеством вычислительных сред и языков программирования (например, метод градиентного спуска [9] в среде Octave).

$$J(\mathbf{w}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left[-y^{(i)} \log(h_w(\mathbf{x}^{(i)})) - (1 - y^{(i)}) \log(1 - h_w(\mathbf{x}^{(i)})) \right] + \frac{\lambda}{2m} \sum_{j=1}^n w_j^2 \quad (7)$$

где m – число векторов признаков;

$\mathbf{x}^{(i)}$ – i -й вектор признаков;

w_j – j -й элемент вектора весовых коэффициентов $\mathbf{w}$;

$y^{(i)}$ – идентификатор режима работы рельсовой цепи, соответствующий i -му вектору признаков;

λ – параметр регуляризации, обеспечивающий контроль переобучения классификатора (выбран равным 1).

Из формулы (7) видно, что для минимизации функции ошибки используется обучающая выборка – совокупность векторов признаков, для которых заранее известно, к каким режимам работы рельсовой цепи они принадлежат. Для целей данного исследования обучающая выборка синтезирована на основе математической модели рельсовой цепи [15].

Функция (6) осуществляет разделение анализируемого пространства признаков на две части в соответствии с решающим правилом (значение

больше или равно 0,5), то есть выполняет бинарную классификацию. Для выделения трех классов, соответствующих нормальному, шунтовому и контрольному режимам работы рельсовой цепи, потребуется три функции вида (6), каждая из которых отделяет один из классов от остальных. При этом решение о классе, к которому принадлежит вектор признаков, принимается на основе функции с наибольшим значением. Такой метод принятия решения имеет название «один против всех» и подробно рассмотрен в [12].

Таким образом, задача построения классификатора сводится к минимизации функции (7) и определению трех наборов весовых коэффициентов w , соответствующих каждому из режимов работы рельсовой цепи. Классификация вектора признаков заключается в трехкратном расчете функции (6) при соответствующих весовых коэффициентах и выборе наибольшего из полученных значений.

Форма границы принятия решения, разделяющей классы, для обученного классификатора определяется формулой (1), которая, при использовании набора ортонормированных функций (4), может иметь до десяти слагаемых при $k \leq 9$. С точки зрения вычислительной эффективности предпочтительной является формула с наименьшим числом слагаемых, обеспечивающая при этом приемлемую точность классификации. При моделировании классификатора с использованием синтетической обучающей выборки максимальная точность (100%) классификатора достигнута уже при $k = 6$. Установленная в результате расчета зависимость точности классификатора от числа используемых ортонормированных функций приведена на рис. 1.

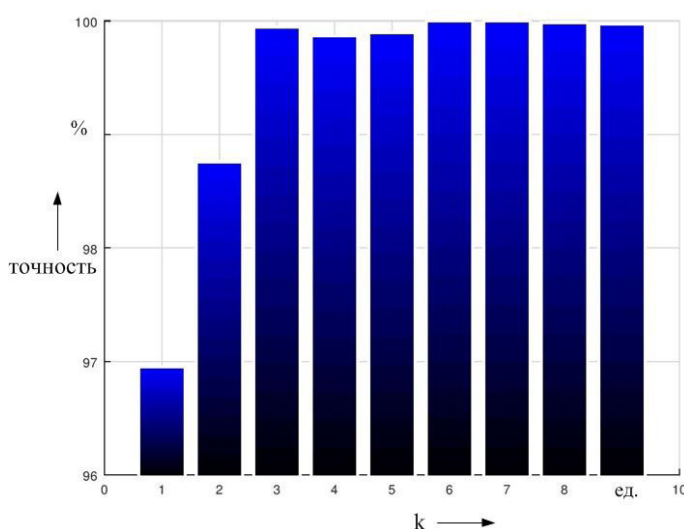


Рис. 1. График изменения точности классификатора в зависимости от вида формулы границы принятия решения для двумерного пространства признаков

При выполнении классификации в пространстве двух признаков, ее результаты могут быть легко визуализированы. В качестве признаков используем нормализованное значение модуля тока на входе рельсовой цепи и нормализованное значение модуля напряжения на ее выходе (переменные x_1 и x_2 в формулах (4)). Под нормализованными понимаются значения признаков, приведенные к интервалу $[0,1]$, с целью предотвращения некорректного обучения классификатора [9]. Границы принятия решения, формируемые классификатором и разделяющие классы, которые соответствуют режимам работы рельсовой цепи, приведены на рис. 2.

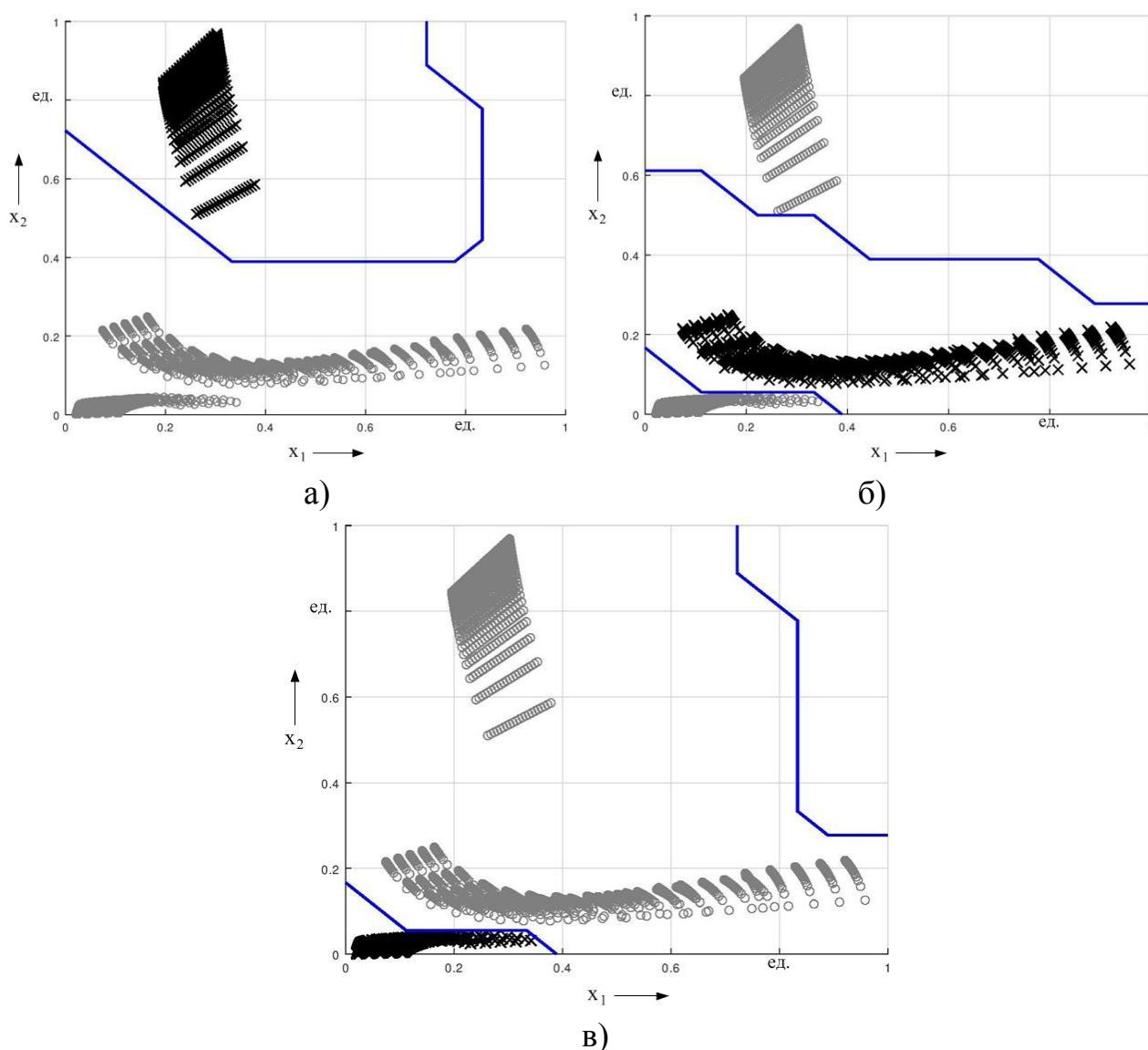


Рис. 2. Границы принятия решений в пространстве признаков, отделяющие а – нормальный, б – шунтовой, в – контрольный режимы работы рельсовой цепи

В случае доступности при классификации большего числа признаков, алгоритм изменяется незначительно. Для демонстрации классификации в трехмерном пространстве признаков, добавим к имеющемуся набору третий признак – нормализованное значение фазы напряжения на выходе рельсовой цепи (переменная x_3). Полная система ортонормированных функций (4) в этом случае имеет вид (8), а формула (1) может иметь до 28 слагаемых при $k \leq 27$.

$$\begin{aligned}
 \varphi_1(\mathbf{x}) &= H_1(x_1) \cdot H_1(x_2) \cdot H_1(x_3), \\
 \varphi_2(\mathbf{x}) &= H_1(x_1) \cdot H_1(x_2) \cdot H_2(x_3), \\
 \varphi_3(\mathbf{x}) &= H_1(x_1) \cdot H_1(x_2) \cdot H_3(x_3), \\
 \varphi_4(\mathbf{x}) &= H_1(x_1) \cdot H_2(x_2) \cdot H_1(x_3), \\
 \varphi_5(\mathbf{x}) &= H_1(x_1) \cdot H_2(x_2) \cdot H_2(x_3), \\
 \varphi_6(\mathbf{x}) &= H_1(x_1) \cdot H_2(x_2) \cdot H_3(x_3), \\
 &\dots \\
 \varphi_{27}(\mathbf{x}) &= H_3(x_1) \cdot H_3(x_2) \cdot H_3(x_3).
 \end{aligned} \tag{8}$$

Моделирование классификатора на синтетической обучающей выборке показало (рис. 3), что безошибочное разделение классов достигается при использовании решающих функций на основе формулы (1) с тремя и более слагаемыми ($k \geq 2$). Таким образом, для построения классификатора в пространстве трех признаков достаточно использовать первые две ортонормированные функции из (8).

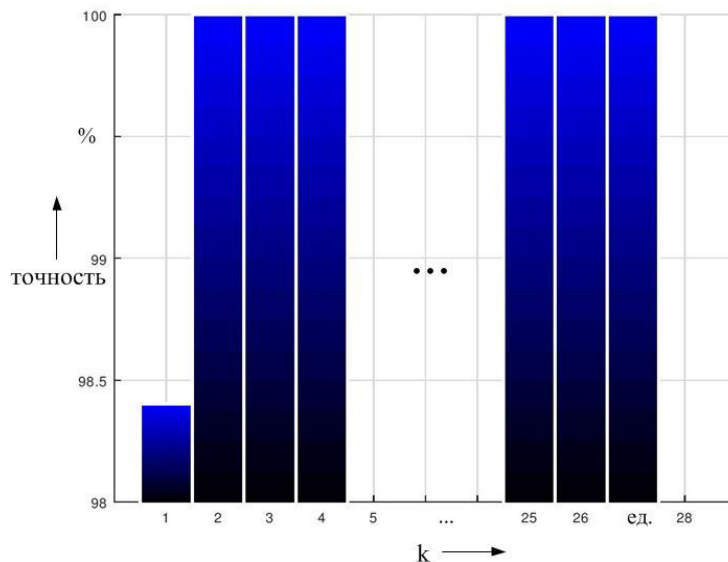


Рис. 3. График изменения точности классификатора в зависимости от вида формулы границы принятия решения для трехмерного пространства признаков

Визуализация границ принятия решения в трехмерном пространстве является более сложной, по сравнению с двумерной. Представление о границах принятия решения можно получить по развертке сторон трехмерного куба (рис. 4), на которой видны проекции областей, относящихся к трем режимам работы рельсовой цепи.

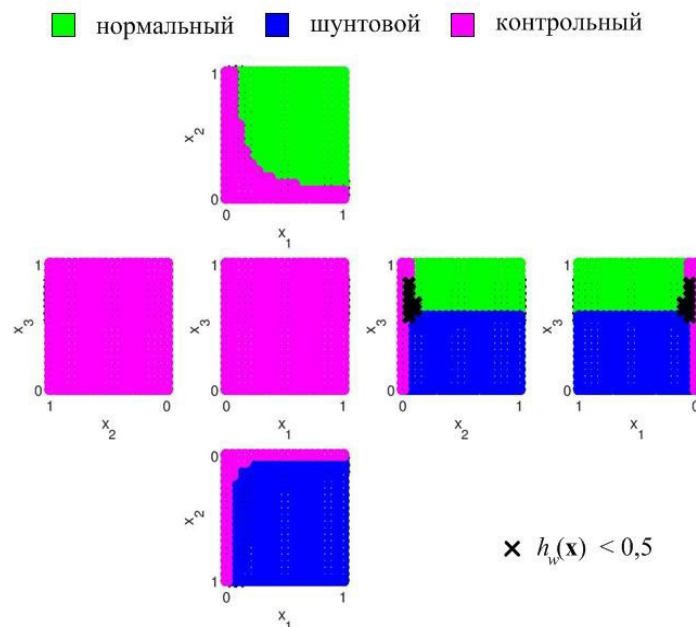


Рис. 4. Развертка трехмерного пространства признаков

Область, где значения решающих функций для любого режима составляет менее 0,5, является неклассифицируемой. На рис. 4 эта область показана маркерами (x). Векторы признаков из неклассифицируемой области нельзя уверенно отнести ни к одному из режимов работы рельсовой цепи. Это может быть интерпретировано как аномальный режим работы рельсовой цепи, при котором значения электрических параметров противоречат теории рельсовых цепей. Очевидно, что при использовании классификатора в задачах связанных с безопасностью, векторы признаков из неклассифицируемой области следует отнести к шунтовому или контрольному режимам.

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать следующие заключения:

- 1) Высокая точность классификатора обусловлена разделимостью классов в синтетической обучающей выборке и использованием признаков с достаточной информативностью;
- 2) Для классификации состояния рельсовой цепи в двумерном пространстве признаков необходимы нелинейные границы принятия решения,

что обеспечено за счет преобразования пространства признаков на основе полинома Эрмита, причем, для преобразования потребовалось 6 ортонормированных функций;

3) В трехмерном пространстве признаков, разделение классов упрощено. Точность классификации достигается при использовании всего 2 ортонормированных функций;

4) Модели классификаторов на основе рассмотренного алгоритма реализованы в среде Octave. Применение формулы (6) в качестве решающей функции позволило выполнить обучение классификаторов путем минимизации функции (7) и использовать для этого стандартный алгоритм минимизации на основе градиентного спуска.

Список литературы

1. Брылеев, А. М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А. М. Брылеев. – М.: Транспорт, 1978. 344 с
2. Насонов, Г. В. Цель – повышение надежности устройств ЖАТ / Г. В. Насонов // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 6. – С. 2-4.
3. Котляренко, Н. Ф. Электрические рельсовые цепи / Н. Ф. Котляренко. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 327 с.
4. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог / В. С. Аркатов. – М.: Миссия-М, 2006. – 496 с. – ISBN 978-5-903538-01-0.
5. Тарасов, Е. М. Рельсовые цепи с обучаемыми классификаторами состояния: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1989. – 24 с
6. Тарасов, Е. М. Принципы распознавания в классификаторах состояния рельсовых линий: моногр. – М.: Маршрут, 2004. – 200 с.
7. Железнов, Д. В. Разработка обучаемого классификатора состояния рельсовых линий с многомерными информативными признаками / Д. В. Железнов, Е. М. Тарасов, А. Г. Исайчева, Т. И. Михеева // Труды СПИИРАН. – 2017. – № 1(50). – С. 32 – 51.
8. Murphy, K. P. Machine learning: a probabilistic perspective. – Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2012. – 1067 p. – ISBN: 0262018020, 978-0262018029.
9. Goodfellow, I. Deep learning / I. Goodfellow., Y. Bengio, A. Courville. – Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2016. – 775 p. – ISBN 978-0262035613.
10. Mitchel, T. M. Machine learning / T. M. Mitchel. – NY: McGraw-Hill Science, 1997. – 432 p. – ISBN 0070428077.

11. Дж. Ту, Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. – М.: Мир, 1978. – 416 с.
12. Борисенко, Д. В. Машинная классификация режима работы электрической рельсовой цепи на основе логистической регрессии / Д. В. Борисенко, И. В. Присухина, С. А. Лунёв // Омский научный вестник. – 2018. – № 4 (160). – С. 67–72. – DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-00-00.
13. Bishop, C. M. Pattern recognition and machine learning / C. M. Bishop. – NY: Springer, 2010. – 738 p. – ISBN 978-0-387-31073-2.
14. Hastie, T. The elements of statistical learning / T. Hastie. – 2 ed. – NY: Springer, 2009. – 745 p. – ISBN 0387848576, 978-0387848570.
15. Борисенко, Д. В. Математическая модель рельсовой цепи для генерации обучающей выборки / Д. В. Борисенко, И. В. Присухина, С. А. Лунёв // Известия Транссиба. – 2017. – № 4 (32). – С. 111–121.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Борисенко Дмитрий Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Автоматика и телемеханика» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-72.
E-mail: borisenkodv@omgups.ru

Присухина Илона Вадимовна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» ОмГУПС
Тел.: +7 (3812) 31-18-72.
E-mail: prisukhinaiv@omgups.ru

Лунёв Сергей Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-72.
E-mail: lunevsa@omgups.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Borisenko Dmitry Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor of the department «Signalling and Interlocking» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-72.
E-mail: borisenkodv@omgups.ru

Prisukhina Iona Vadimovna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Postgraduate student of the department
«Signalling and Interlocking» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-72.
E-mail: prisukhinaiv@omgups.ru

Lunev Sergey Aleksandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, Head of the department «Signalling and Interlocking» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-72.
E-mail: lunevsa@omgups.ru

В. С. Иванов, И. А. Баринов

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС),
г. Иркутск, Российская федерация

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ IGBT-ТРАНЗИСТОРОВ В КАЧЕСТВЕ СИЛОВОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

В данной статье произведен анализ существующих на сегодняшний день конструкций IGBT-транзисторов, производимых как зарубежными, так и отечественными производителями. Рассматриваются достоинства и недостатки каждой из транзисторных конструкции, на основании которых могут быть сформулированы будущие рекомендации в предпочтении того или иного исполнения силового высоковольтного полупроводникового прибора.

Ключевые слова: IGBT-транзистор, пластиковый модуль, технология press-pack, выпрямительно-инверторный преобразователь, электроподвижной состав.

Vladislav S. Ivanov, Igor A. Barinov

Irkutsk State Transport University (ISTU), Irkutsk, Russian Federation

THE PROBLEM OF CHOOSING DESIGN OF IGBTs AS DOMESTIC ELECTRIC ROLLING STOCK POWER ELEMENTAL BASE

This article analyzes the existing designs of IGBTs produced by both foreign and domestic manufacturers. The advantages and disadvantages of each transistor design are considered, on the basis of which future recommendations can be formulated in the preference of a particular performance of a power high-voltage semiconductor device.

Keywords: IGBT, plastic module, press-pack technology, reversible power converter, electric rolling stock.

Выпрямительно-инверторный преобразователь (ВИП) является одним из важных элементов тягового привода электроподвижного состава (ЭПС) однофазного переменного тока, от силовой элементной базы которого будет зависеть множество факторов. Во-первых, это коэффициент мощности, характеризующий количество и качество потребляемой электрической энергии ЭПС. Во-вторых, это загрузка тяговой сети реактивной энергией ЭПС, от

величины которой зависит пропускная способность тягового участка в целом. В настоящее время, в качестве силовой базы на современных электропоездах и электровозах применяется морально устаревшие силовые полупроводниковые приборы – тиристоры. Как показывает полувековая практика, тиристорные ВИП имеют множество недостатков [1]. Однако на сегодняшний день имеется перспективное схемотехническое решение, заключающееся в замене существующей полууправляемой тиристорной базы на современную полностью управляемую транзисторную, работающую на разработанных уникальных алгоритмах управления в режимах тяги и рекуперативного торможения. Это решение в итоге позволит устранить недостатки тиристорного преобразователя [2].

Внедрение силовых IGBT-транзисторов в качестве силовой базы на отечественном электроподвижном составе (ЭПС) является в настоящее время одним из наиболее актуальных направлений и соответствует курсу на развитие ресурсосберегающих технологий на электрическом транспорте в рамках стратегии холдинга ОАО «РЖД» [3].

На сегодняшний день существуют две вариации выпускаемых зарубежными и отечественными производителями IGBT-транзисторов [4]:

- 1) модульная конструкция с односторонним прижимом и охлаждением;
- 2) таблеточная конструкция, имеющая возможность двухстороннего охлаждения.

Модули одностороннего охлаждения выполняются в пластиковом изоляционном корпусе с паяными контактами, которые располагаются в верхней части корпуса, рис. 1. Отвод тепла осуществляется через основание корпуса транзистора. Как правило, драйверы управления данных транзисторов располагаются непосредственно на силовом ключе и в совокупности образуют «Интеллектуальный транзисторный модуль (ИТМ)». Данные модули содержат защиту от короткого замыкания, а также систему диагностирования, которая обеспечивает защиту от исчезновения управляющего сигнала, одновременной проводимости в противоположных плечах силовой схемы, а также исчезновения напряжения источника питания и других аварийных процессов. Кроме того, во многих модулях имеется схема активного фильтра, выполняющая коррекцию коэффициента мощности и уменьшения содержания высших гармонических колебаний в питающей сети.

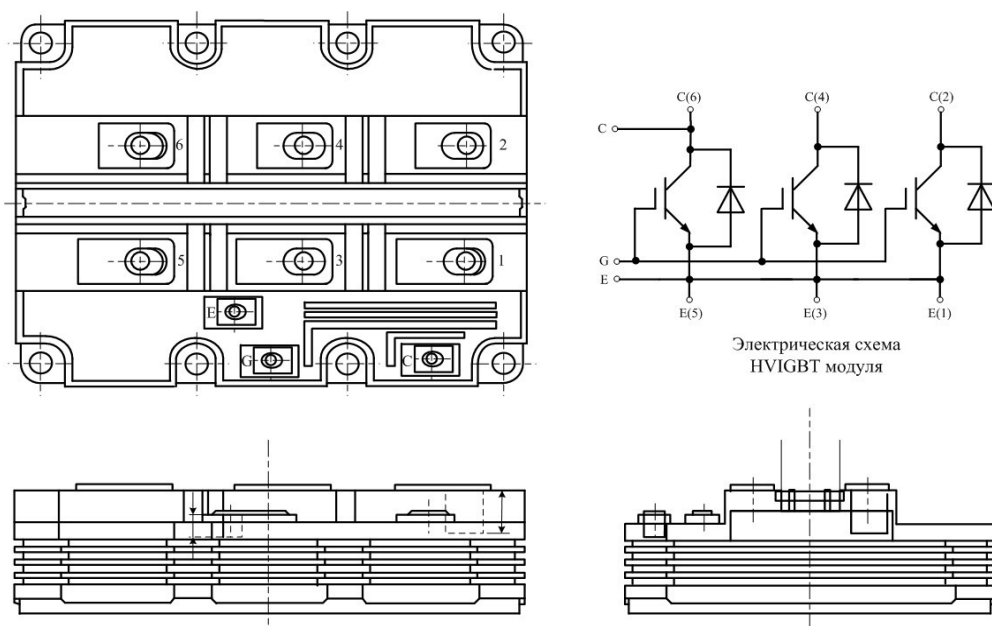


Рис. 1. Силовой, высоковольтный IGBT-модуль фирмы *Hitachi*

Электрические схемы транзисторных модулей имеют множество вариантов, основные из которых – следующие:

- единичный IGBT-транзистор, рис. 2 а;
- двойной IGBT- транзистор технологии *half-bridge*, рис. 2 б;
- тройной однофазный мост, рис. 2 в;
- *chopper* (единичный IGBT последовательно соединён с диодом), рис. 2 г.

На сегодняшний день интенсивно развивается технология корпусирования паяной конструкции силовых модулей, необходимая для дальнейшего снижения габаритов и массы, повышения надёжности, энерго- и термоциклоустойчивости, уменьшения теплового сопротивления и стоимости модуля. Эти цели достигаются применением новых материалов и технологий сборки на тонких керамических подложках в корпусах с малоиндуктивными выводами, с использованием матричных композиционных материалов, имеющих хорошие теплопроводящие свойства и низкие, согласованные с кремнием и керамикой, коэффициенты теплового расширения (КТР).

IGBT-модули обладают множеством преимуществ:

- электрическая изоляция элементов схем модулей от охлаждающих устройств позволяет устанавливать их на одном радиаторе (охладителе);
- легкость монтажа и удобство объединения с другими схемами преобразователя;
- минимизация паразитных индуктивностей в силовых цепях, за счет чего в транзисторах снижаются всплески перенапряжений и коммутационные потери;

- высокая стойкостью к du/dt , благодаря чему обеспечивается надежная работа транзисторов при предельных нагрузках по току и напряжению;
- малое время спада тока при выключении;
- очень низкие и практически не зависящие от температуры остаточные токи, что особенно важно при работе транзисторов на высоких частотах;
- высокие значения коммутируемых токов и напряжений.

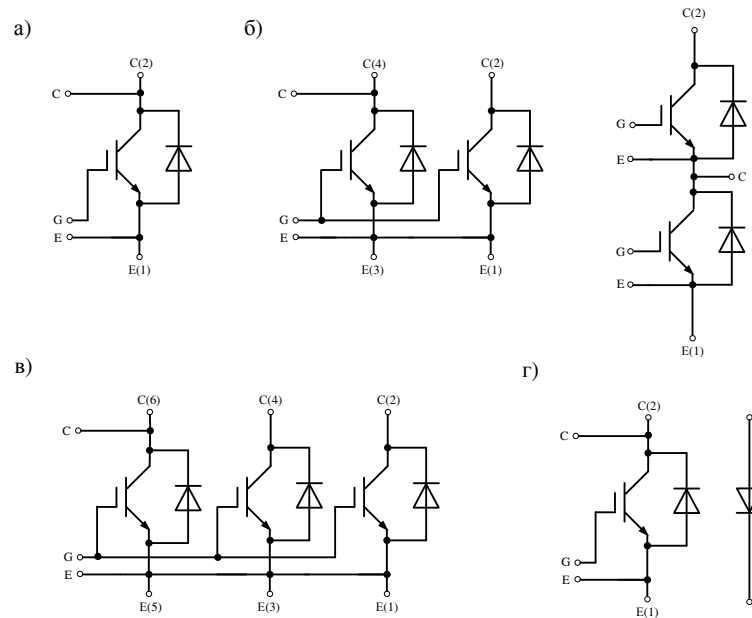


Рис. 2. Электрические схемы транзисторных модулей

Ввиду своей распространенности, цены на IGBT-транзисторы в пластиковом корпусе сравнительно низкие.

Наряду с развитием технологии паяной конструкции силовых модулей с изолированным основанием, параллельно продолжает интенсивно развиваться технология прижимной конструкции IGBT-транзисторов или *press-pack technology*, рис. 2.

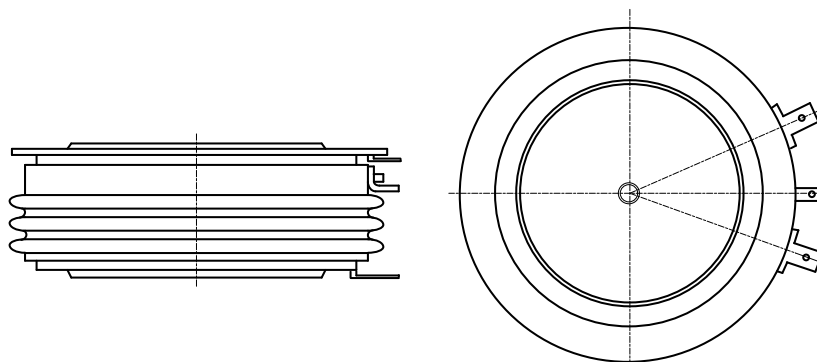


Рис. 3. Силовой, высоковольтный IGBT- транзистор технологии *press-pack* производства IXYS Westcode

IGBT такого типа имеют целый ряд преимуществ, характерных для стандартных силовых полупроводниковых приборов таблеточной конструкции:

- высокая надежность в циклическом режиме работы;
- повышенная нагрузочная и перегрузочная способности;
- высокая температурная устойчивость модуля;
- очень низкая внутренняя индуктивность прибора;
- высокая устойчивость к воздействию внешней среды.

Press-pack технология IGBT-транзисторов позволяет произвести модернизацию существующих преобразователей отечественного ЭПС, которые оборудованы морально устаревшими полууправляемыми силовыми тиристорами. При этом может быть сохранена прежняя конструкция и система охлаждения.

Однако транзисторы технологии *press-pack* имеют и недостатки:

- для монтажа и теплоотвода транзисторов необходимы дополнительные элементы в преобразователе (прижимные устройства, включающие в себя шпильки, траверсы и прижимные прокладки, электрические изоляторы, а отвод тепла осуществляется с помощью дополнительных теплоотводящих изоляторов, имеющих непосредственный контакт с охладителями);

- надежная работа транзисторов зависит от определенной силы прижатия «таблетки» между охладителями, которую необходимо выставить с помощью динамометрических ключей;

- цены на данные СПП значительно выше, чем на транзисторы модульной конструкции ввиду того, что производство силовых высоковольтных IGBT-транзисторов по технологии *press-pack* на сегодняшний день является малоосвоенным производством, которые освоили только несколько зарубежных производителей.

Заключение. Сравнение вышеописанных достоинств обоих вариантов исполнения IGBT-транзисторов позволяют сделать вывод о сопоставимости их совокупных технических характеристик и достигаемого эффекта. Выбор исполнения транзисторов, таким образом, должен определяться в зависимости от конкретных технических требований, предъявляемых в обслуживании и эксплуатации преобразователей, требований безопасности, экономической целесообразности и рекомендаций руководящих исследовательских организаций, занятых разработкой перспективных силовых преобразователей для электропоездов и электропоездов.

Список литературы

1. Мельниченко, О. В. Анализ применения преобразователей в силовых схемах отечественного моторвагонного подвижного состава переменного тока / О. В. Мельниченко, В. С. Иванов // Вестник ИрГТУ – 2018. – № 4, – С. 231-242.
2. Иванов, В.С. Разработка силовой схемы электропоезда переменного тока серии ЭД9Э на базе IGBT-транзисторов / В. С. Иванов, О. В. Мельниченко // Наука и молодежь: Сборник трудов Четвертой Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (апрель – май 2018 г.). – Иркутск: ИрГУПС, 2018. – 1049 с.
3. Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года «Белая книга», 2015. – 69 с.
4. Иванов, В. С. Разработка выпрямительно-инверторного преобразователя и выпрямительной установки возбуждения для моторвагонного подвижного состава переменного тока на диодно-транзисторной базе / В. С. Иванов, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков // Электропривод на транспорте и в промышленности: Тр. II Всерос. науч.-практ. конф. (Хабаровск, 20–21 сентября 2018 г.) / под ред. С.В. Власьевского. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2018. – 423 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванов Владислав Сергеевич

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).
Чернышевского, 15, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроподвижной состав» ИрГУПС.
Тел.: +7 (983) 153-10-75.
E-mail: Vladislav-Sergeevich-Irgups@mail.ru

Баринов Игорь Александрович

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).
Чернышевского, 15, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроподвижной состав» ИрГУПС.
Тел.: +7 (914) 907-37-20.
E-mail: ib4558@yahoo.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivanov Vladislav Sergeevich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
15, Chernyshevsky st., Irkutsk, 664074, Russian Federation.
Postgraduate student of the department
«Electric rolling stock» ISTU.
Phone: +7 (983) 153-10-75.
E-mail: Vladislav-Sergeevich-Irgups@mail.ru

Barinov Igor Alexsandrovich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
15, Chernyshevsky st., Irkutsk, 664074, Russian Federation.
Postgraduate student of the department
«Electric rolling stock» ISTU.
Phone: +7 (914) 907-37-20.
E-mail: ib4558@yahoo.com

С. Ю. Мельникова

Тайгинский институт железнодорожного транспорта – филиал Омского государственного университета путей сообщения, г. Тайга, Российская Федерация

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА
ОСНОВЕ IT ТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

В работе рассматриваются вопросы, связанные с использованием информационных технологий в целях повышения качества электроэнергии для потребителей.

Ключевые слова: качество электроэнергии, IT технологии, электрическая сеть, автоматизированная система управления.

Svetlana Y. Melnikova

Tayga Institute of Railway Transport – a branch of the Omsk State Transport University,
Tayga, the Russian Federation

**DEVELOPMENT OF HIGHLY EFFICIENT QUALITY MANAGEMENT
SYSTEMS OF ELECTRIC ENERGY ON THE BASIS OF
IT TECHNOLOGIES IN ELECTRICAL NETWORKS**

The article is devoted to the study of using the information technologies in order to improve the quality of electricity for consumers.

Keywords: quality of electric power, IT technology, electrical network, automated control system.

В условиях рыночных отношений основными факторами конкурентоспособности являются цена и качество. Современный мир - это мир инновационных технологий, но уровень качества электроэнергии остался на уровне двадцатилетней давности и по экспертным оценкам из-за объема интегрального ущерба ежегодного исчисляется миллиардами рублей крупных компаний. [1] Если рассматривать проблемы и последствия технологических отставаний от современных IT технологий в электроэнергетике можно сделать вывод, что это приводит к снижению качества и надежности электроснабжения

потребителей электроэнергии, увеличению потерь в сетях, а также устареванию эксплуатируемого оборудования тяговых и нетяговых потребителей.

Методы искусственного интеллекта, теории управления, мониторинг неисправностей и координации деятельности обслуживающего персонала по кратчайшему их устранению на основе компьютерных и информационных технологий позволят повысить качество электроэнергии для потребителей независимо от их категорий.

Транспортировка электроэнергии от электростанции к потребителям является одной из важнейших задач энергетики. Электроэнергия поставляется преимущественно по воздушным линиям электропередачи (ЛЭП), которые состоят из кабельных линий и оборудования для преобразования энергии и согласования с нагрузкой. Эффективность и надежность передачи энергии определяется состоянием сетей электроснабжения. Проведя мониторинг повреждений воздушных ЛЭП по Западно - Сибирской железной дороге, студентами и научным руководителем Мельниковой С.Ю., были разработаны и предложены дистанциям электроснабжения мероприятия по исследованию методов диагностики ВЛ ЛЭП при использовании квадрокоптеров с целью оптимизации экономических затрат, энергоэффективных систем наружного освещения и современные устройства управления освещением.

Мониторинг технического состояния ВЛ проводился для сбора актуальной информации о параметрах технического состояния линий в рамках выявления нарушений и неисправностей технического обслуживания и включал в себя: осмотры, проверки, обследования опор и их фундаментов, проводов, грозозащитных тросов, линейной арматуры, изоляции, заземляющих устройств, контактных соединений, состояния подвесок и арматуры. Преимущества дистанционного метода заключаются в том, что существует возможность обследования труднодоступных и протяженных участков ЛЭП с высокой скоростью, способность нести большую полезную нагрузку в виде контролирующих приборов, тепловизоров и др.

Сети наружного освещения тоже являются неотъемлемой частью инженерной инфраструктуры любого населенного пункта, так как затраты в этих сетях оцениваются в 30% от всех затрат на освещение. Именно здесь имеется мощный потенциал для энергосбережения.

Мероприятия по энергосбережению в сетях наружного освещения, как правило, сводятся к замене светильников с ртутными лампами на более экономичные светильники с натриевыми лампами высокого давления. Казалось бы, светодиодные светильники более экономичны, но ввиду их высокой стоимости, пока слабо конкурентны.

Система АСУНО (автоматизированная система управления наружным освещением) это аппаратно-программный комплекс, позволяющий управлять сетями наружного освещения пофазно. Решение позволяет задавать различные графики переключения для каждой фазы, включение фонарей осуществляется на 100%. Существует возможность включения по графику, либо с привязкой к солнечному календарю. Передаются данные и принимаются управляющими командами с сервера АСУНО, расположенного в диспетчерском центре (рис.1).



Рис. 1. Структурная схема АСУНО

К основным особенностям системы АСУНО относятся простота и удобство системы управления освещением через интернет.

Преимущества АСУНО заключаются в том, что доступ возможен с любого устройства с выходом в интернет (планшет, телефон, стационарный ПК), отсюда появляется возможность заведения неограниченного количества пользователей с разграничением прав доступа.

Связь шкафов управления с сервером может осуществляться через локальную сеть (Ethernet/WiFi) или через мобильный интернет (2G/3G).

Система не накладывает никаких ограничений на количество контролируемых шкафов управления свыше 300 питающих пунктов. Для работы с таким количеством объектов хватает ресурсов обычного офисного ПК и интернет-канала 128 кбит/сек.

Таким образом разработка высокоэффективных систем управления качеством электрической энергии на основе IT технологий в электрических сетях способствует эффективному функционированию энергосистемы, созданию благоприятной электромагнитной обстановки для функционирования электротехнических средств, как со стороны потребителей, так и со стороны энергоснабжающих организаций. Обеспечение качества электроэнергии является необходимым условием безопасности жизни и здоровья населения, а также одной из основ укрепления национальной безопасности государства.

Список литературы

1. Папков, Б. В. Теория систем и системный анализ для электроэнергетиков : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Б. В. Папков, А. Л. Куликов. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 470 с. — (Серия : Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-00721-3.
2. Библиотека технических наук «Техносфера» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/razrabotka-sistemy-upravleniya-kachestvom-elektricheskoy-energii-v-elektricheskikh-setyah>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Мельникова Светлана Юрьевна
Тайгинский институт железнодорожного транспорта – филиал Омского государственного университета путей сообщения.
Молодежная ул., д. 13, г. Тайга, 652401, Российская Федерация.
Преподаватель ТИЖТа (филиала ОмГУПС).
Тел.: 89505851070
E-mail: al.vorotnik@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Melnikova Svetlana Yuryevna
Tayga Institute of Railway Transport – a branch of the Omsk State Transport University.
13, Molodezhnaya st., Tayga, 652401, the Russian Federation.
Teacher of TIRT (branch of OSTU)).
Phone: 89505851070
E-mail: al.vorotnik@gmail.com

А. Х. Суллийев

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта,
г. Ташкент, Республика Узбекистан.

БИПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АВТОРЕЗОНАНСНЫЙ ДАТЧИК ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Рассматривается разработанный бипараметрический резонансный датчик перемещения, его принцип действия, обеспечивающий точное и стабильное измерение технологических параметров в системе нагрузки генератора электроподвижного состава железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: бипараметрических резонансных датчиков перемещения, которые по своим свойствам.

Absaid Kh. Sulliev

Tashkent Institute of Railway Transport Engineers, Tashkent, the Republic of Uzbekistan.

BIPARAMETRIC AUTHORESONIC TRANSMISSION SENSOR

The developed biparametric resonance displacement sensor, its operating principle, providing accurate and stable measurement of technological parameters in the load system of the generator of the rolling stock of railway transport is considered.

Keywords: biparametric resonance displacement sensors, which by their properties

Автоматизация различных технологических процессов, требующая применения комплекса первичных преобразователей – датчиков, позволяет довольно легко выполнять трудоемкие процессы, экономить энергетические ресурсы, снижать себестоимость выпускаемой продукции и повышать ее качество за счет обеспечения близких к оптимальным режимам работы как в нормальных, так и в аварийных ситуациях. Между тем одним из основных препятствий этому является отсутствие датчиков перемещения, отвечающих современным требованиям при работе в экстремальных условиях эксплуатации с повышенной запыленностью, влажностью, значительным перепадом температур и т.п [1].

Сравнительный анализ основных характеристик существующих датчиков перемещения показывает, что наиболее перспективным направлением в решении актуальной проблемы более эффективного использования систем

контроля и управления, является применение бипараметрических резонансных датчиков (БПРД) перемещения, которые по своим свойствам (высокая надежность и стабильность характеристики в экстремальных условиях эксплуатации, а также большая выходная мощность) наилучшим образом удовлетворяют современным требованиям систем контроля и управления. Однако существующие БПРД перемещения практически непригодны, вследствие нестабильности чувствительности во всем диапазоне измерения, нелинейности статической характеристики и невысокой точности измерения. В результате этого снижается точность контроля и управления, а в ряде случаев уменьшается запас устойчивости системы. Необходимость в более точном и стабильном измерении технологических параметров перемещения объектов систем контроля и управления, выдвигает проблему разработки новых БПРД перемещения с улучшенными информационно – техническими характеристиками, чем и объясняется актуальность проблемы исследования.

Разработка новых конструкций БПРД перемещения осуществлена с использованием энергоинформационного и морфологического методов технического творчества, в частности, методики выявления и реализации обобщенных приёмов усовершенствования конструкций датчиков и составления морфологических матриц технических реализаций физико–технических эффектов (ФТЭ). Сущность вышеуказанных методов и последовательность их применения достаточно подробно описаны в работах [1].

На рис.1 представлена схема авторезонансного бипараметрического датчика линейных перемещений.

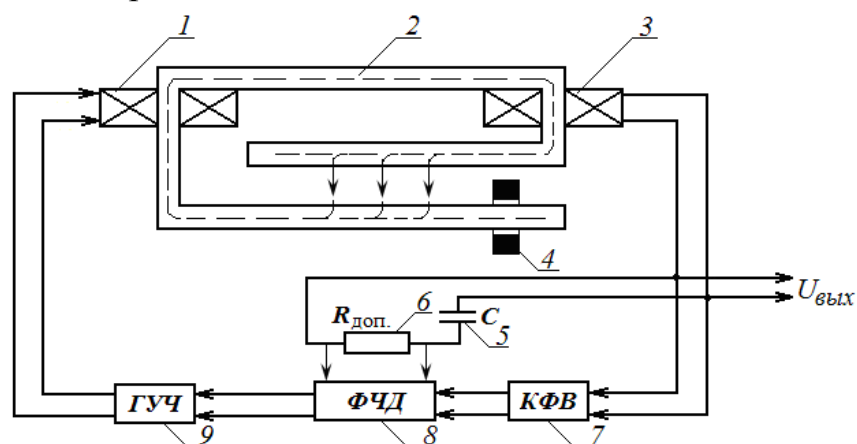


Рис.1. Авторезонансный бипараметрический резонансный датчик
линейного перемещения

Датчик состоит из  – образного неподвижного магнитопровода 2, на основании которого размещены сосредоточенные первичная обмотка возбуждения 1 и выходная вторичная обмотка 3. Подвижный якорь – экран 4 обхватывает параллельный стержень магнитопровода 1. Конденсатор 5 постоянной ёмкости подключен к вторичной обмотке 3 через дополнительный резистор 6. Зажимы выходной вторичной обмотки 3 через квадратурный фазовращатель (КФВ 7) и опорный вход фазочувствительного детектору (ФЧД 8) подключены к входу генератора управляемой частоты (ГУЧ 9). Выход ГУЧ 9 подключен к обмотке возбуждения 1 [2].

Датчик линейных перемещений работает следующим образом.

Определённому положению якорь–экрана 4 соответствует величина индуктивности L_2 вторичной обмотки и соответственно частота генератора 9. Эта частота устанавливается равной резонансной частоте контура, состоящего из индуктивности вторичной обмотки 3, конденсатора 5 и резистора 6 с небольшим сопротивлением. При этом угол сдвига фаз индуцируемого напряжения на выходной обмотке 3 относительно угла фазы тока упомянутого контура, протекающего через резистор $R_{\text{доп}}$, равен нулю.

КФВ 7 производит сдвиг угла напряжения $U_{\text{вых}}$ вторичной обмотки на 90° и подает этот сигнал на опорный вход ФЧД 8. На сигнальный вход этого ФЧД подается напряжение с концов резистора 6. Известно, что в резисторе форма и фаза напряжения соответствуют форме и фазе тока упомянутого контура [2]. Этому состоянию соответствует выходной сигнал ФЧД, равный нулю.

При изменении координаты x якоря–экрана 4, индуктивность L_2 вторичной обмотки 3 соответственно изменяется. Это приводит к появлению соответствующего сдвига фаз между углами тока и выходного напряжения вторичной обмотки. Вследствие этого на выходе ФЧД 8 появляется сигнал, знак которого соответствует направлению, а модуль – величине изменения координаты x . Этот сигнал изменяет частоту ГУЧ 9 нового резонансного состояния.

На основе анализа кривых зависимостей $L_{\text{нд}}^{o*} = f(x^*)$, $L_{\text{нд}}^{\varepsilon*} = f(x^*)$ и $L_{\text{нд}}^{c*} = f(x^*)$ в относительных единицах $(L_{\text{нд}}^*(x^*) = \frac{L_{\text{нд}}(x^*)}{L_{\text{нд}}(1)})$ при разных значениях β и $Z_{\mu 0}$ установлено, что наименьшую нелинейность изменения

индуктивности недифференциальных БПРД при одних и тех же поперечных габаритах имеют датчики с подвижной обмоткой, наибольшую – датчики с подвижным сердечником (рис.2). Кривые свидетельствуют о том, что магнитное сопротивление основания магнитопровода $Z_{\mu o}$ обуславливает нелинейность изменения индуктивности резонансных цепей с подвижными экраном и сердечником: если $Z_{\mu o} \neq 0$, то даже при $\beta = 0$ зависимости $L_{нд}^{\varepsilon*} = f(x^*)$ и $L_{нд}^{c*} = f(x^*)$ отличаются от линейной. Расхождение между расчетными и экспериментальными данными составляет 8-11% , что объясняется пренебрежением потоками рассеяния, продольными размерами обмоток и подвижных частей, а также электрического сопротивления экрана [3].

Емкость конденсатора БПРД перемещения в соответствии с условием сохранения резонанса определяется в относительных единицах следующим выражением:

$$C(x^*) = \varepsilon_o \frac{S_3}{X_m x^*}. \quad (1)$$

Собственные угловые частоты колебательных контуров БПРД перемещения с определенным видом подвижной части с учетом (1) переделаются как

$$\omega_{нд}^o(x^*) = \frac{1}{\sqrt{L_{нд}^o(x^*)C(x^*)}} = \frac{1}{w} \sqrt{\frac{x^* \Delta_{нд}^o}{\gamma \varepsilon_o S_3 \{sh\beta - sh[\beta(1-x^*)] + sh(\beta x^*)\}}}, \quad (2)$$

$$\omega_{нд}^{\varepsilon}(x^*) = \frac{1}{w} \sqrt{\frac{x^* \Delta_{нд}^{\varepsilon}(x^*)}{\gamma \varepsilon_o S_3 sh(\beta x^*)}}, \quad (3)$$

$$\omega_{нд}^c(x^*) = \frac{1}{w} \sqrt{\frac{x^* \Delta_{нд}^c(x^*)}{\gamma_1 \varepsilon_o S_3 sh(\beta_1 x^*)}}. \quad (4)$$

Если считать, что резонанс в цепи БПРД перемещения настроен при координате подвижной части $x_o^* = \frac{x_o}{X_m}$ ($x_o^* \leq x \leq 1$), то относительные расстройки частоты цепей БПРД перемещения по отношению к резонансной частоте $\omega(x_o^*)$, возникающей под влиянием распределенных параметров $Z_{\mu l}$ и

C_{μ} магнитной цепи с определенным видом подвижной части датчика, соответственно равны

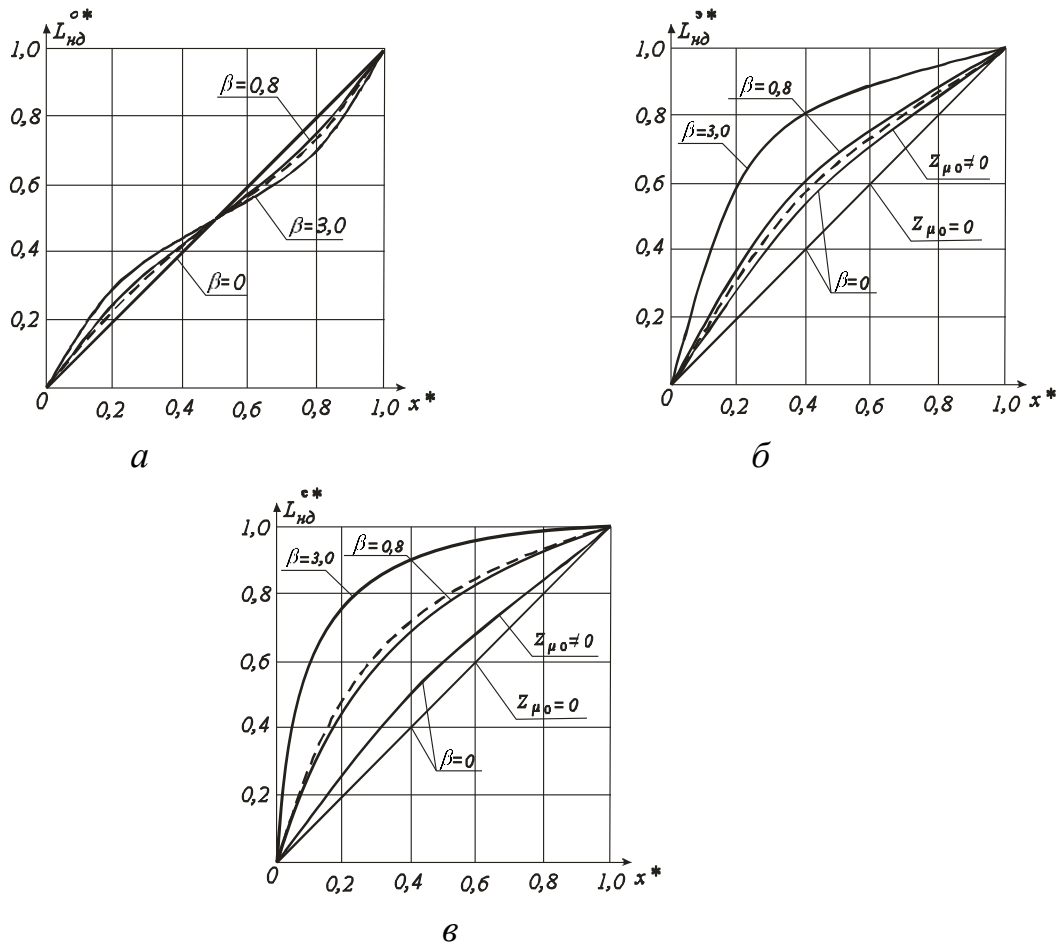


Рис.2. Кривые зависимости $L_{\mu 0}^{o*} = f(x^*)$, $L_{\mu 0}^e = f(x^*)$ и $L_{\mu 0}^c = f(x^*)$ при разных значениях β и $Z_{\mu 0}$: сплошные – расчетные данные; пунктирные – экспериментальные.

$$\Delta \omega_{\mu 0(p)}^o = \frac{\omega_{\mu 0}^o(x^*) - \omega_{\mu 0}^o(x_o^*)}{\omega_{\mu 0}^o(x_o^*)} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{\sqrt{x^* \{sh\beta - sh[\beta(1-x_o^*)] + sh(\beta x_o^*)\}} - \sqrt{x_o^* \{sh\beta - sh[\beta(1-x^*)] + sh(\beta x^*)\}}}{\sqrt{x_o^* \{sh\beta - sh[\beta(1-x^*)] + sh(\beta x^*)\}}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

$$\Delta \omega_{\mu 0(p)}^e = \frac{\sqrt{x^* \Delta_{\mu 0}^e(x^*) sh(\beta x_o^*)} - \sqrt{x_o^* \Delta_{\mu 0}^e(x_o^*) sh(\beta x^*)}}{\sqrt{x_o^* \Delta_{\mu 0}^e(x_o^*) sh(\beta x^*)}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

$$\Delta \omega_{\mu 0(p)}^c = \frac{\sqrt{x^* \Delta_{\mu 0}^c(x^*) sh(\beta_1 x_o^*)} - \sqrt{x_o^* \Delta_{\mu 0}^c(x_o^*) sh(\beta_1 x^*)}}{\sqrt{x_o^* \Delta_{\mu 0}^c(x_o^*) sh(\beta_1 x^*)}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Разработанный БПРД перемещения внедрен в производственный процесс локомотивного депо «Узбекистан» регионального железнодорожного узла «Ташкент» для измерения положения штока поршня серводвигателя нагрузки в системе объединенного управления дизель – генератором тепловоза 2 ТЭ 10 М [4]. Методика расчета магнитных цепей БПРД перемещения с распределенными параметрами и с различными видами подвижной части, разработки по исследованию резонансных цепей, погрешностей методом параметрических структурных схем (ПСС) и их динамических характеристик используется учебном процессе при обучении студентов бакалавриат и магистратуры соответствующих специальностей.

Список литературы

1. Амиров, С. Ф. Бипараметрические резонансные датчики с распределенными параметрами / С. Ф. Амиров, А. Х. Суллийев. // Датчики и системы . – 2008г. – №10.
- 2 Амиров, С. Ф. Бипараметрические резонансные датчики для систем управления скорости перемещения поездов / С. Ф. Амиров, А. Х. Суллийев. – Ташкент. Издательство «ADAD PLYUS» ООО, 2015. – 214с
3. Патент Республики Узбекистан по №IAP-04362. Преобразователь линейных перемещений / Якубов М.С, Баратов Р.Ж., Суллийев А.Х // «Расмий ахборотнома». – 2000. – №3.
4. Суллийев, А. Х. Бипараметрические резонансные цепи с распределенными параметрами / А. Х. Суллийев // Прорывные технологии электрического транспорта Элтранс-2017: IX Международный симпозиум (Eltrans-2017) 18-20 октября, Санкт-Петербург, 2017 г. – С.92-93.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Суллийев Абсаид Хуррамович
Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Адылходжаева д.1а., г. Ташкент,
Республика Узбекистан.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроснабжения железных дорог»
ТашИИТ.
Тел. +99891640-63-29.
E-mail: absaid.sulliev@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sulliev Absaid Khurramovich
Tashkent Institute of Railway Transport
Engineers (TashIIT).
Adylkhodzhaeva st. d.1a., Tashkent, the
Republic of Uzbekistan.
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the department of «Electricity
Supply of Railways» TashIIT.
Phone. +99891640-63-29.
E-mail: absaid.sulliev@mail.ru

А. В. Паранин, А.Б. Батрашов

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
г. Екатеринбург, Российская Федерация

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТ ЛОКАЛЬНОГО ПЕРЕГРЕВА ПРИ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Тепловизионная диагностика является эффективным методом обследования контактной сети при установившемся тепловом режиме. На основании электротепловых расчетов в режиме транзита тягового тока возможно выявить «узкие места» с точки зрения нагрева проводов контактной подвески, что позволяет сосредоточить тепловизионную диагностику на выявлении дефектных по нагреву элементов. Тепловизионная диагностика контактной сети вагон-лабораторией ведется в движении в режиме токосъема, когда существенная токовая нагрузка в таких элементах контактной сети, как струны, поперечные электросоединители, трос средней анкеровки возникает только вблизи места приложения нагрузки – токоприемника. Соответственно, тепловизионная диагностика данных элементов наиболее эффективна в момент достижения максимальной температуры, определение которого возможно при электротепловых расчетах.

В статье рассмотрен способ численного моделирования процессов токораспределения и нагрева проводов контактной подвески в режимах транзита тягового тока и токосъема. Рассмотрены варианты расчета контактной подвески при таких дефектах как: повышенное переходное сопротивление тоководящих зажимов, нарушение проводимости струн или поперечных электросоединителей, местный износ контактного провода.

Ключевые слова: электротепловой расчет; контактная подвеска; постоянный ток; метод конечных элементов; тепловизионная диагностика; переходное сопротивление, износ контактного провода.

Alexander V. Pararin, Andrei B. Batrashov

Ural State University of Railway Transport (USURT),
Yekaterinburg, the Russian Federation

THERMAL CALCULATION OF THE DC CONTACT LINE WITH THE PURPOSE OF THE DETECTION OF THE LOCAL OVERHEATING AT THE THERMAL DIAGNOSTICS

Thermal imaging is an effective method for examining the contact line under steady-state thermal conditions. "Bottlenecks" from the point of view of heating the wires of the contact line can be detected on the basis of the electrothermal calculations in the regime of transit of the traction current. This allows us to concentrate thermal imaging diagnostics on the detection of heat-defective elements. Thermal imaging of the contact line by the test car is carried out in the mode of current collection. In current collection mode the current load occurs only near the place of application of the load - pantograph in such elements of the contact line as drops, cross electrical connectors, midpoint anchoring wire. The thermal imaging diagnostics of these elements is most effective at the time of reaching the maximum temperature, the determination of which is possible with electrothermal calculations.

The method of numerical modeling of the current distribution and heating of contact suspension wires in modes of transit of traction current and current collector is considered in the article. The article consists the variants of calculating the contact line for such defects as: increased transient resistance of current-carrying clamps, breach of conductivity of drops or cross electrical connectors, local wear of the contact wire.

Keywords: electrothermal calculation; contact line; direct current; finite element method; thermal imaging diagnostics; transient resistance, contact wire wear.

Введение. Тепловизионная диагностики контактной подвески постоянного тока производится с целью оперативного выявления наиболее нагруженных участков контактной сети с целью их ремонта или замены. Соединение элементов контактной подвески между собой, образует топологически сложную электрическую цепь. Из этого следует, что в результате локального перераспределения тока в контактной подвеске возникают участки с повышенными токовыми нагрузками. Так теоретическое предположение об участке повышенного нагрева несущего троса (НТ) в зоне средней анкеровки (СА) компенсированной подвески было выведено В.Е. Марским в работе [1].

Математическое моделирование тепловых процессов происходящих в контактной подвеске позволяет определить является ли участок контактной подвески с повышенной температурой, выявленный при тепловизионной диагностике, дефектным или же данное превышение температуры возможно при нормальном режиме работы. Так как часть элементов контактной подвески находятся под токовой нагрузкой лишь в момент прохода токоприёмника вблизи данного элемента (например, поперечный электросоединитель (ПС), струна, и т.п.), то выявление дефектов в данных элементах становится затруднительным. Тепловые расчеты контактной подвески позволяют определить условия, при которых выявление дефекта возможно.

Математическая модель. Провода контактной сети представляются в пространстве одномерными линейными объектами с искомыми функциями электрического потенциала V и температуры T зависящими от пространственной координаты (x, y, z) и времени t . В статье [2] представлено подробное описание конечно-элементной математической модели электротеплового расчета контактной подвески постоянного тока. Согласно анализу, произведенному в статье [3], модель токораспределения и нагрева

проводов контактной подвески, основанная на методе конечных элементов, имеет наибольшие расчетные возможности из всех существующих моделей.

Математическая модель для электротеплового расчета контактной подвески постоянного тока описывается системой уравнений 1.

$$\begin{cases} \frac{1}{r_{\text{ПГ}}(T)} \cdot \nabla^2 V = -(f + f_I); \\ c \cdot m_{\text{ПГ}} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - k_{\text{ПГ}} \cdot \nabla^2 T = r_{\text{ПГ}}(T) \cdot I^2 + q_{\text{СЛ}} - q_{\text{КН}} - q_{\text{ЛЧ}} - f_Q, \end{cases} \quad (1)$$

где $r_{\text{ПГ}}(T)$ – функция погонного сопротивления провода от температуры, Ом/м; V – расчетная функция потенциала провода, В; f – погонный источник тока, А/м; c – теплоёмкость материала, Дж/(кг·К); $m_{\text{ПГ}}$ – погонная масса, кг/м; T – расчетная функция температуры провода, К; k – погонная теплопроводность, Вт·м/(К); $q_{\text{СЛ}}$ – погонный поток солнечной радиации, Вт/м; $q_{\text{КН}}$ – погонный поток тепла от теплоотдачи конвекцией, Вт/м; $q_{\text{ЛЧ}}$ – погонный поток тепла от теплоотдачи лучеиспусканием, Вт/м; f_I – погонный источник тока на участке соединения провода и зажима, А/м; f_Q – погонный источник тепла на участке соединения провода и зажима, Вт/м.

Арматура контактной сети также представлена одномерными линейными объектами с искомыми функциями электрического потенциала V_1 и температуры T_1 . В местах соединения проводов и зажимов, для соответствующих линейных участков заданы условия, описывающие тепловой и электрический контакт.

Расчетная геометрия контактной подвески преобразуется в сеточную модель из Лагранжевых конечных элементов второго порядка. Напряжение на концах питающих проводов с одной стороны расчетного участка, задается равным нулю по граничному условию Дирихле. Ток может быть задан точечным источником на питающем проводе с другой стороны (режим транзита), в произвольной точке контактного провода (КП) (режим токосъема при стоянке), либо погонным источником тока f , перемещение которого по контактному проводу описывается функцией $S(t)$ (режим токосъема при движении).

На рис. 1 представлен расчетный участок контактной подвески вблизи средней анкеровки.

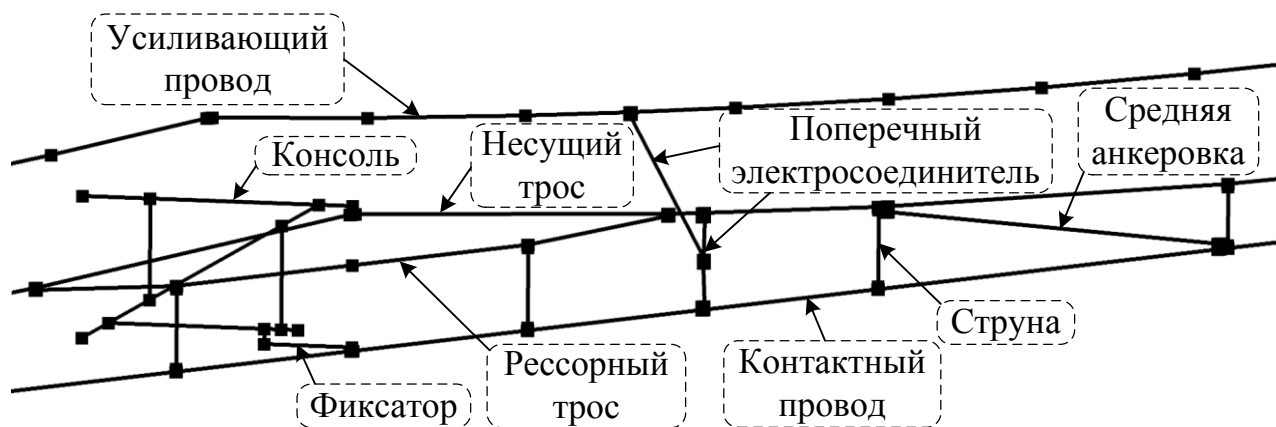


Рис. 1 . Участок расчетной геометрии в зоне средней анкеровки

Контактная подвеска состоит из следующих проводов: Бр1-120 + 2хБр1Ф-100 + 2хМ-120. Струны выполнены из проволоки БСМ-4. Поперечные соединители выполнены проводом М-95. Трос средней анкеровки выполнен из провода ПБСМ-70. Выбор бронзовых проводов контактной подвески для теплового расчета сделан на основании статьи [4], в которой приведены основания в пользу применения бронзовых проводов в контактной сети.

Расчет выполнялся при проходе электроподвижного состава с током 2500 А после предварительного нагрева транзитным током 2000 А для случая одностороннего питания контактной сети.

На рис. 2 представлено распределение температуры по длине контактного провода с участком местного износа в 20% длиной 20 см в середине межструнового пролета (локальный износ 1) и под струновым зажимом (локальный износ 2).

Из графика видно, что наличие зажима снижает перегрев контактного провода на участке местного износа. Таким образом, выявление участков локального износа контактной подвески с помощью тепловизионной диагностики требует анализа термограмм не только по наибольшей температуре, но и по расположению арматуры контактной сети на контактном проводе. Кроме того, наличие локального увеличения температуры контактного провода может быть вызвано повышенным переходным сопротивлением зажима.

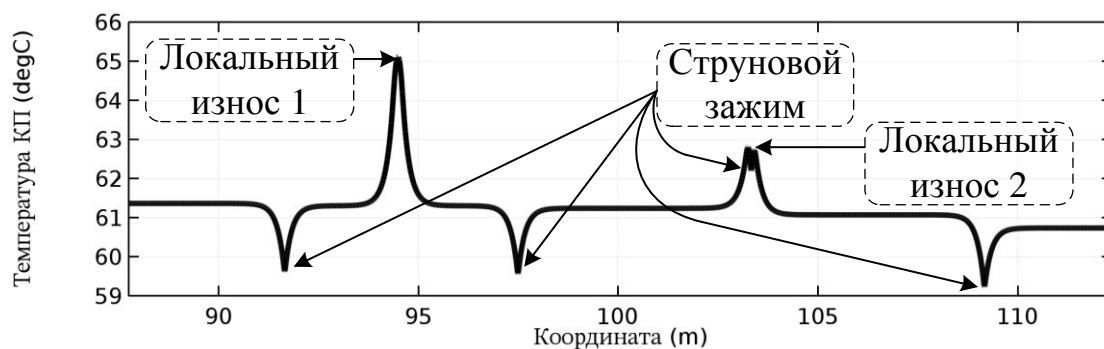


Рис. 2 . Температура КП

На рис. 3 представлено распределение температуры контактного провода вблизи крепления зажима средней анкеровки с повышенным переходным сопротивлением в режиме транзита тягового тока.

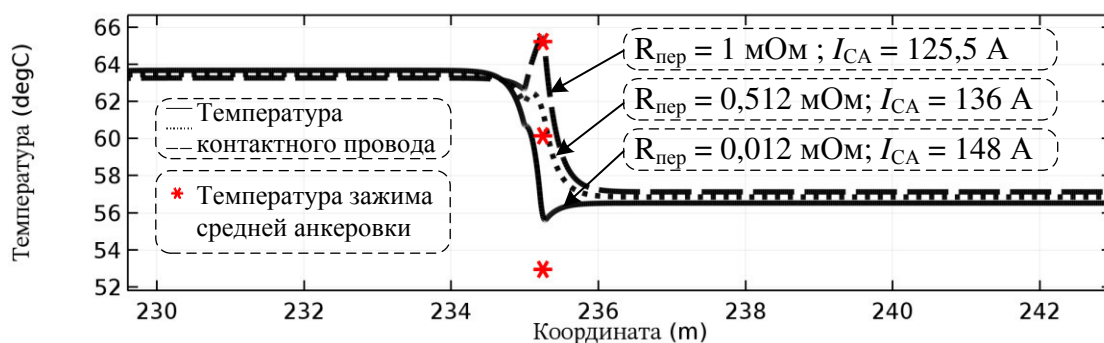


Рис. 3. Температура контактного провода вблизи зажима средней анкеровки

Из графика видно превышение температуры контактного провода вблизи дефектного зажима. В отличие от локального износа контактного провода под зажимом температура дефектного зажима может быть выше температуры провода. Это свидетельствует о том, что источником тепла выступает именно соединение зажима контактной сети с проводами контактной подвески, а не уменьшенное сечение контактного провода.

Так как ток через трос средней анкеровки протекает в режиме транзита, то проявление дефекта зажима средней анкеровки возможно путем измерения превышения температуры зажима над температурой проводов под токовой нагрузкой. Так как поперечные электросоединители находятся под токовой нагрузкой лишь в момент прохода токоприемника, то, вследствие различных постоянных времени нагрева для проводов и зажима, даже для дефектных зажимов не наблюдается превышение температуры над температурой проводов. Выявление

дефектности зажима возможно в случае анализа расчетных данных и данных тепловизионной диагностики при известном графике тока в контактной подвеске. В статье [5] авторами предлагается оценка дефектности зажима по тангенсу угла наклона кривой коэффициента дефектности. Данный метод требует ряд измерений на протяжении 10 – 30 минут, что затруднительно при тепловизионной диагностике с помощью вагона-лаборатории контактной сети.

В табл.1 представлено сравнение температуры зажимов с нормальным и повышенным переходным сопротивлением при проходе токоприемника

Таблица 1

Температура зажимов при проходе токоприемника

Соединительный зажим ПС УП и ПС НТ-КП			Соединительный зажим ПС и НТ			Зажим троса СА и КП		
$R_{\text{пер,}}$ мкОм	$I_{\text{МАХ,}}$ А	$T_{\text{ЗЖМ,}}$ °С	$R_{\text{пер,}}$ мкОм	$I_{\text{МАХ,}}$ А	$T_{\text{ЗЖМ,}}$ °С	$R_{\text{пер,}}$ мкОм	$I_{\text{МАХ,}}$ А	$T_{\text{ЗЖМ,}}$ °С
13,94	462,5	40,36	18,10	74	53,69	12,13	270	54,87
540	461	45,06	684	62	53,94	1012	230	55,77

Из таблицы видно, что повышение температуры зажимов составляет от 0,25 до 4,7 градусов.

Изменение переходного сопротивления зажима влияет на характер токораспределения в контактной подвеске и тем самым на величину тока, протекающего через данный зажим. Так из рис. 3 и табл. 1 видно, что с ростом переходного сопротивления происходит снижение тока. Снижение тока, протекающего через зажим, обусловлено соотношением значения сопротивления элемента контактной подвески, который соединяет зажим и значением переходного сопротивления. Так для соединительного зажима поперечного электросоединителя, соединяющего усиливающий провод (УП) и ПС между НТ и КП, произошло незначительное снижение тока с 462,5 А до 461 А так как сопротивление элемента сопоставимо с повышенным переходным сопротивлением, что вызвало наибольшее увеличение температуры зажима.

При нарушении проводимости струн или поперечных электросоединителей происходит перераспределение токовой нагрузки на ближайшие элементы контактной подвески. Таким образом, повышенная

температура сруны или поперечного электросоединителя свидетельствует о нарушении проводимости в ближайшем аналогичном элементе.

Выводы. Тепловизионная диагностика зажимов средней анкеровки возможна в режиме транзита и наиболее эффективна после длительного протекания транзитного тока. Тепловизионная диагностика поперечных электросоединителей возможна в режиме прохода токоприемника и требует сравнения полученных данных с расчетными при известном токе в контактной подвеске, либо ряд измерений в цикле нагрев/охлаждение. Так как в режиме транзита поперечные электросоединители не находятся под токовой нагрузкой, то тепловизионная диагностика в данном режиме неэффективна. Аналогичны подход применим к токопроводящим струнам и шунтирующим элементам ушек фиксаторов. Тепловизионная диагностика проводов контактной подвески на наличие локального уменьшения сечения должна производиться с учетом расположения арматуры контактной сети на исследуемом элементе.

Повышенная температура элемента контактной подвески не всегда свидетельствует о его дефектности. Вследствие процессов, приводящих к токораспределению, дефектным может оказаться ближайший аналогичный элемент контактной подвески. Также дефект может не проявляться в виде существенного повышения температуры из-за снижения доли тока, протекающего через дефектный элемент, в результате повышенного переходного сопротивления.

Список литературы

1. Марский, В. Е. Определение нагрузочной способности контактных подвесок постоянного тока и их элементов: Новое в хозяйстве электроснабжения / В. Е. Марский: Под ред. А. Б. Косарева [Текст] / Интекст – Москва, 2003. – С. 21 – 27.
2. Паранин, А. В. Расчет распределения тока и температуры в контактной подвеске постоянного тока на основе метода конечных элементов [Текст] / А. В. Паранин // Вестник ВНИИЖТ / Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта – Москва. – 2015. – № 6. – С. 33–38.
3. Батрашов, А. Б. Сравнение моделей токораспределения в контактных подвесках постоянного тока [Текст] / А. Б. Батрашов // Известия Транссиба / Омский государственный университет путей сообщения – Омск. – 2017. – № 4. – С. 54–67.

4. Паранин, А. В. Обоснование допустимости применения одинарного контактного провода взамен двойного для контактной подвески постоянного тока на основании теплового расчета [Текст] / А. В. Паранин, А. Б. Батрашов // Вестник РГУПС / Ростовский государственный университет путей сообщения – Ростов-на-Дону. – 2017. – № 1. – С. 109 – 114.

5. Игнатенко, И. В. Оценка переходного электрического сопротивления плашечного болтового зажима [Текст] / И. В. Игнатенко, С. А. Власенко, Р. С. Кавлак // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема / Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема – Биробиджан. – 2017. – № 1. – С. 21 – 27.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Паранин Александр Викторович

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС).
Колмогорова., д. 66, г. Екатеринбург 620034, Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение железных дорог» УрГУПС.
Тел.: +7 (343) 221-24-78.
E-mail: alks84@mail.ru

Батрашов Андрей Борисович

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС).
Колмогорова ул., д. 66, г. Екатеринбург 620034, Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроснабжение железных дорог» УрГУПС.
Тел.: +7 (343) 221-24-78.
E-mail: andreybatrashov@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Paranin Alexander Viktorovich

Ural State University of Railway Transport (USURT).
66, Kolmogorov st., Yekaterinburg, 620034, the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the department «Transport Power Supply» USURT.
Phone: +7 (343) 221-24-78.
E-mail: alks84@mail.ru

Batrashov Andrei Borisovich

Ural State University of Railway Transport (USURT).
66, Kolmogorov st., Yekaterinburg, 620034, the Russian Federation.
Postgraduate of the department «Transport Power Supply» USURT.
Phone: +7 (343) 221-24-78.
E-mail: andreybatrashov@gmail.com

Д. Х. Баратов, Н. М. Арипов

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ), г. Ташкент, Узбекистан

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

В статье рассмотрены методология разработки электронной системы документооборота технической документации (ЭДТД) для электротехнических комплексов железнодорожной автоматики и телемеханики. Основные теоретические результаты реализованы в программном обеспечении «Автоматизированная система учета и контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики».

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика, электронный документооборот технической документации, теория графов, модель электронного документооборота, формальное представление технической документации, программное обеспечение.

Dilshod Kh. Baratov, Nazirjon M. Aripov

Tashkent Institute of railway engineers (TashIIT), Tashkent, Uzbekistan

DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF ACCOUNTING AND CONTROL OF ELECTROTECHNICAL COMPLEXES OF RAILWAY AUTOMATICS AND TELEMECHANICS

The article describes the methodology of development of electronic document management system of technical documentation (EDD) for electrical complexes of railway automation and telemechanics. The main theoretical results are realized in the software "Automated system of accounting and control of railway automation and telemechanics devices".

Keywords: railway automation and telemechanics, electronic document management of technical documentation, graph theory, model of electronic document management, formal presentation of technical documentation, software.

Переход на новые технологии автоматизированного управления вызывает необходимость разработки систем электронного документооборота для электротехнических комплексов железнодорожной автоматики и телемеханики, обеспечивающих эффективную поддержку принятия решений на всех этапах разработки, внедрения и эксплуатации систем и управления движением поездов.

Внедрение электронного документооборота является одной из важнейших задач железнодорожного транспорта и программы переходу к «Электронному правительству». В АО «Узбекистан темир йўллари» в настоящее время хранятся огромные объемы технической документации, которые создаются, обрабатываются и анализируются «вручную». При этом одни и те же этапы ввода первичных данных выполняются неоднократно разными службами и организациями, увеличивая затраты непроизводительного труда и количество «ошибок оператора».

Системы электронного документооборота являются мощным средством повышения производительности труда и качества выполняемых работ при создании и проектировании объектов новой техники. Они играют важную роль при разработке и внедрении систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), как существующих, так и новых поколений [1].

Транспортные процессы, особенно с точки зрения анализа функционирования автоматизированных технологических комплексов, включая управления и контроля систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, естественно формализуются с применением схем массового обслуживания. Так, например, непрерывный процесс движения поезда в системах железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) представляется в виде последовательности дискретных событий – занятия и освобождения рельсовых цепей [2].

Создание такой сложной и объемной системы, как электронный документооборот технической документации (ЭДТД) СЖАТ, является непрерывным процессом. ЭДТД разрабатывается и внедряется поэтапно, на протяжении длительного периода времени, а уже внедренные подсистемы и процессы совершенствуются на основе новых информационных технологий и технических средств. Разработка новых классов СЖАТ, например микропроцессорных, также требует совершенствования и развития ЭДТД. Эти факторы определяют непрерывность процесса создания ЭДТД СЖАТ, а следовательно, и постоянную потребность в принятии новых системотехнических решений. Очевидна также необходимость количественного обоснования системотехнических решений, что, в свою очередь, предполагает разработку соответствующих инструментальных средств и сопровождение ими процессов создания и эксплуатации систем ЭДТД.

В соответствии с предложенной в [2] концептуальной моделью методология описания электронного документооборота технической документации (ЭДТД) в хозяйстве автоматики и телемеханики основывается на выделении следующих составляющих: уровней управления, технологических

цепочек по выделенным уровням иерархии и алгоритмов выполнения технологических процессов (ТП) исследуемого ЭДТД [3].

Формализованная схема ЭДТД синтезируется на основе обобщенной формализованной схемы (ОФС) сложных систем массового обслуживания, предложенной авторами в [4,5]. Содержательное наполнение концептуальной модели (модель-описание) формируется в соответствии с выделенными составляющими по результатам обследования реальных процессов ЭДТД. Это позволяет перейти от модели-описания к формализованной схеме [6], которая служит основой для разработки автоматизированной технологии ЭДТД, предназначенной для оценки эффективности принимаемых системотехнических решений.

Формальная модель определяется парой неупорядоченных множеств: а) множеством переменных-параметров; б) множеством отношений, связывающих значения этих переменных. Обеспечение средств создания формальных моделей является наиболее важной задачей математики, и именно это делает ее основой прикладных наук. Именно модель представляет объект исследования или расчетов и определяет характер формального аппарата, используемого для описания задачи и выполнения необходимых вычислений [7].

В соответствии с теоретическими результатами, полученными в работе [8], формально процесс ЭДТД представляется в виде трех конечных множеств и связей элементов этих множеств между собой. Математическая нотация данного процесса представлена в виде тройки

$$D_T = \{U, P, \Phi\}$$

где D_T – формальная модель электронного документооборота технической документации; U – множество участников; P – множество процессов; Φ – множество состояний ТД с допустимыми областями значений.

Множество U определяется как конечное множество фактических участников документооборота, P – как конечное множество процессов, выполнение которых производится в пределах рассматриваемой системы документооборота участниками из множества U . Φ – конечное множество состояний, которые могут принимать ТД после выполнения процессов из множества P участниками из множества U .

Результаты, представленные состояниями документов, выстраиваются в последовательность изменяемых состояний. Это позволяет представить документооборот в виде конечного автомата, который оперирует документами в виде алфавита и действиями участников, представленными в виде функций перехода автомата.

Логический уровень формальной модели ЭДТД реализован с использованием аппарата теории графов [9]. Теоретические исследования, позволившие реализовать данный подход в системе документооборота, были проведены автором в работе [10].

Для представления графа документооборота технической документации принимается написание вида

$$G = (V, E, \Gamma),$$

где V – множество вершин графа, E – множество ребер графа, Γ – множество отношений инцидентности.

Предложенный подход представления модели в виде совокупности графов является основой для хранения данных об архитектуре моделируемой системы документооборота.

Рассмотрим логическую схему алгоритмов процесса ведение заказных спецификаций алгоритма A11 [10] :

$$A11 = b_{111} \downarrow^{111} b_{112} \alpha_{111} \uparrow^{111} \downarrow^{117} d_{111} \alpha_{112} \uparrow^{112} \alpha_{113} \uparrow^{113} v_{119} b_{113} \omega \uparrow^{116} \downarrow^{113} v_{111} \downarrow^{116} v_{112} v_{113} \times \\ \times v_{114} v_{115} v_{116} v_{117} v_{118} \alpha_{114} \uparrow^{114} \downarrow^{114} b_{115} b_{116} b_{117} v_{111} v_{112} \downarrow^{112} v_{1110} b_{114} \alpha_{115} \uparrow^{115} v_{+} \omega \uparrow^{117} \downarrow^{115} v_j$$

Для отображения переходного процесса, в алгоритмическом описании используя теория графов, построим граф переходов (рис.1).

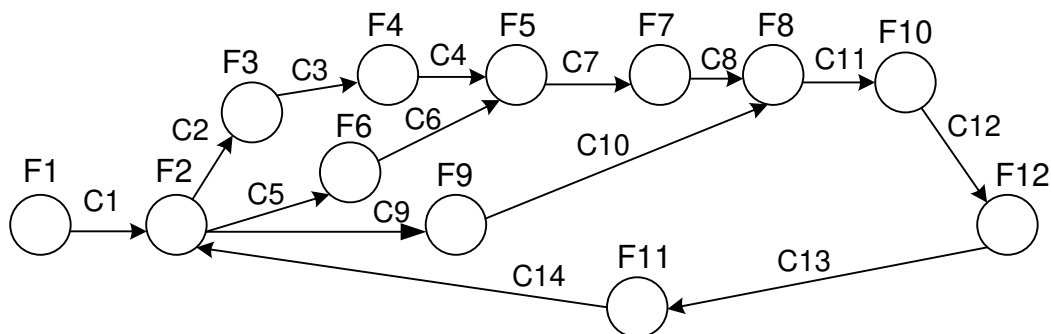


Рис.1. Графовая модель алгоритмического описания A11

В графовой модели использованы следующие условные обозначения:

- измененные в состоянии документы, используемых в моделируемом процессе – F1,...,F12.
- алгоритмы, производимые над документами для смены состояний – C1,...,C14.

Предлагаемые формальные модели ЭДТД [4,8,10] реализованы в программном модуле «Автоматизированная система учета и контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики» (АСУ-КЖАТ), которая зарегистрирована в государственном реестре.

АСУ-КЖАТ предназначено для автоматизации учета и контроля приборов железнодорожной автоматики и телемеханики, а также для планирования работы ремонтно-технологического участка.

С технологической точки зрения АСУ-КЖАТ представляет собой интеграционную систему, охватывающую делопроизводство, контроль и учета устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, и связывающую их с внешней средой электронного обмена.

Для апробации полученной теоретической базы ОФС разработана автоматизированная система учета и контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. Автоматизированная система проходит испытания в Ташкентской дистанции сигнализации и связи ШЧ-1.

Система электронного документооборота повышает скорость принятия решений за счет достаточного объема информации и сокращения времени для обработки документации.

В современных условиях в развитии электронного документооборота СЖАТ наблюдаются следующие тенденции: расширение функциональных возможностей, повышение требований безопасности информации, уменьшение времени на обработку технической документации и др. Эти новые качества систем электронного документооборота могут быть достигнуты за счет использования современной методики и средств информационных систем.

Использование информационно-коммуникационных технологий позволяет существенно расширить каналы взаимодействия службы автоматики и телемеханики с причастными организациями, способствовать тем самым укреплению сотрудничества между предприятиями, построенного на взаимопонимании, учете интересов каждого.

АСУ-КЖАТ представляет собой с одной стороны обширную базу данных, хранящую в себе полную информацию об установленном оборудовании, включая его историю. С другой стороны, АСУ-КЖАТ является клиентской частью, которая работает с этой базой данных и реализует потребности различных служб.

На рис.2 приведена схема архитектуры программного комплекса АСУ-КЖАТ. Данная системный комплекс будет распространяться через Ремонтно-технологические участки (РТУ) дистанции сигнализации и связи (ШЧ) АО “Ўзбекистон темир йўллари” с использованием серверов АСУ-КЖАТ и базы данных.

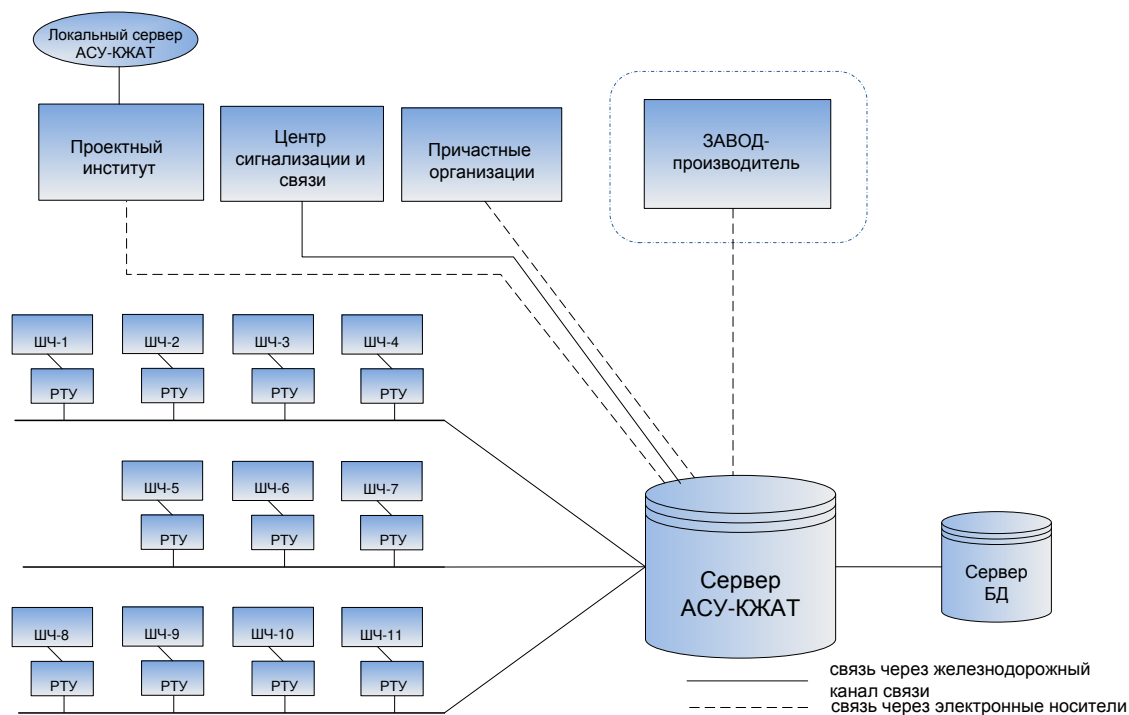


Рис.2. Схема архитектуры программы АСУ-КЖАТ

Предлагаемая технологическая структура учитывает возможности существующих линии связи, технологии передачи данных. База данных контроля и учета устройств железнодорожной автоматики и телемеханики организуется на сервере АСУ-КЖАТ. В свою очередь сервер АСУ-КЖАТ взаимодействует с базой данных.

Информационные безбумажные технологии контроля и учета устройств железнодорожной автоматики и телемеханики облегчают процесс управления всеми потоками оборудования.

Список литературы

1. Василенко, М. Н. Принципы организации электронного документооборота технической документации / М. Н. Василенко, Б.П. Денисов, П. Е. Булавский, Д. В. Седых // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – №7. – С.31-35
2. Булавский, П. Е. Концептуальная модель электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – №1(32). – С. 60-63.
3. Булавский, П. Е. Синтез формализованной схемы электронного документооборота систем железнодорожной автоматики и телемеханики / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Известия ПГУПС. – 2010. – Вып. № 4. – С. 63–74.
4. Арипов, Н. М. О документообороте в хозяйстве автоматики и телемеханики и внедрение безбумажной технологию ведения технической

документации/ Н. М. Арипов, Д. Х. Баратов // Вестник ТашИИТ. – 2015. – №2. – 2015. – С.77-81.

5. Karim Kanso Automated Verification of Signalling Principles in Railway Interlocking Systems / Karim Kanso, Faron Moller, Anton Setzer // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. – 2009. – №250. – Pp. 19–31.

6. SENER Ibrahim Specication and formal verication of safety properties in a point automation system / Ibrahim Sener, Ozgur Turay Kaymakci, Ilker Ustoglu, Galip Cansever // Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. – 2016/ – №24. – Pp. 1384-1396.

7. Круковский М.Ю. Программный комплекс поддержки системы композитного документооборота на основе моделей процессов // Математичні машини і системи. – 2006. – № 1. – С.81–92.

8. Арипов Н.М., Баратов Д.Х. Мирсалихов Э.А. Моделирование электронного документооборота технической документации железнодорожной автоматики // Проблемы информатики и энергетики. 2016. №2. С.78-84.

9. Diestel R. Graph Theory, Electronic Edition. – NY: Springer-Verlag, 2005. – С. 422.

10. Baratov D., Aripov N. Formalization of electronic technical document management of railway automatics and telemechanics // European Applied Sciences. – 2016. – #8.– P.33-36.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Баратов Дилшод Хамидуллаевич

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Адылходжаева д.1, 100167, г. Ташкент,
Республика Узбекистан.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Автоматика и телемеханика на
железнодорожном транспорте» ТашИИТ.
Тел. +99890 919-50-99
E-mail: baratovdx@yandex.ru

Арипов Назиржон Мукарамович

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Адылходжаева д.1, 100167, г. Ташкент,
Республика Узбекистан.
Доктор технических наук, профессор
кафедры «Автоматика и телемеханика на
железнодорожном транспорте» ТашИИТ.
Тел. +99890 933-10-93
E-mail: aripov_nm@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Baratov Dilshod Khamidullaevich

Tashkent Institute of Railway Transport
Engineers (TashIIT).
Adylkhodzhaeva st. d.1, 100167, Tashkent,
the Republic of Uzbekistan.
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the department of «Automation and
telemechanics on railway transport » TashIIT.
Phone. +99890 919-50-99
E-mail: baratovdx@yandex.ru

Aripov Nazirjon Mukaramovich

Tashkent Institute of Railway Transport
Engineers (TashIIT).
Adylkhodzhaeva st. d.1, 100167, Tashkent, the
Republic of Uzbekistan.
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
department of «Automation and telemechanics
on railway transport » TashIIT.
Phone. +99890 933-10-93
E-mail: aripov_nm@mail.ru

К. К. Жураева, Ж. С. Файзуллаев

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, г. Ташкент, Республика Узбекистан

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ДАТЧИКИ УСИЛИЙ И ТОКА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В статье приведены отличительные конструктивные особенности новых магнитоупругих датчиков механических усилий и магнитомодуляционных датчиков постоянного тока. Показано, благодаря выполнению сквозных щелей на образующих поверхностях кольцевых магнитопроводов датчика усилий обеспечивается одновременное и двухстороннее приложение механических напряжений к наружным и внутренним образующим поверхностям кольцевых магнитопроводов, в результате чего повышается чувствительность датчика, а благодаря исключения из схемы элементов триггера и делителя упрощается конструктивное исполнение и повышается элементная надежность датчика тока.

Ключевые слова: магнитоупругий датчик механических усилий, кольцевые магнитопроводы, сквозные щели, упругие конические втулки, широтно-импульсная модуляция, магнитно-транзисторный мультивибратор, чувствительность, надежность.

Kamila K. Juraeva, Javhar S. Fayzullaev

Tashkent Institute of Railway Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan

THE ELECTROMAGNETIC SENSOR OF MECHANICA FORCE AND ELECTRICAL CURRENT FOR FUNCTIONAL DIAGNOSIS OF ELECTRICAL EQUIPMENT

The this article is given distinctive design of new magneto elastic sensors of mechanical forces and magneto modulation discrete current (DC) sensors. Shown that, due to implementation of through slots on generatrix surfaces of annular magnetic circuits of force sensor, simultaneous and two-sided application of mechanical stresses to outer and inner generates of annular magnetic circuits are possible, as a result of which sensitivity of the sensor is increased, and eliminating of elements of trigger and divider from circuit, element reliability of current sensors.

Keywords: magneto elastic sensor, mechanical forces, ring magnetic circuits, through slots, elastic conical bushings, modulation, magnetic transistor, multivibrator, sensitivity, reliability.

Оценка технического состояния технологического и энергетического оборудования, транспортных средств и коммуникаций представляет собой важную задачу, решение которой позволяет обнаружить на ранней стадии зарождающиеся дефекты и, тем самым, предотвратить аварийные ситуации, способные привести к серьезным негативным последствиям [1].

Функциональная диагностика и контроль технологических процессов включают в себя измерение широкого спектра самых разных физических величин (вибраций, электрических токов и напряжений, параметров электромагнитных полей, акустических волн, температуры и т.д.). Часто все эти величины требуется измерять одновременно, что можно осуществить, с помощью многоканальных измерительных комплексов. Упростить конструкцию таких комплексов и снизить, тем самым, их стоимость позволяет использование однотипных датчиков, способных преобразовывать в электрический сигнал большинство из перечисленных выше величин. Электромагнитные датчики как раз обладают такими широкими функциональными возможностями. С их помощью можно измерять практически любую механическую величину и большинство электромагнитных величин [2].

В данной статье вкратце остановимся на конструктивных особенностях магнитоупругого датчика усилий и магнитомодуляционного датчика постоянного тока, которые могут быть использованы в системах функциональной диагностики технического состояния электрических машин и других электрооборудований электровозов.

На рис. 1 показана конструктивная схема разработанного магнитоупругого датчика усилий [3, 4]: на рис. 1, а – датчик в разрезе А – А; на рис. 1, б – вид датчика сверху; на рис. 1, в – показана электрическая схема секций измерительных обмоток датчика.

Магнитоупругий датчик усилий содержит два идентичных кольцевых магнитопровода 1 и 2 с выполненными по длине окружности сквозными щелями 3 и 4. На наружной и внутренней поверхностях кольцевых магнитопроводов 1 и 2 имеются кольцевые выступы 5-8 из неупругого материала. Кольцевые магнитопровода 1 и 2 через три пары силовоспринимающих элементов в виде концентрически и взаимно-зеркально расположенных упругих конических втулок 9 – 14, установленных соосно с кольцевыми магнитопроводами, размещены вдоль оси 15 в последовательный ряд. В этом

последовательном ряду кольцевой магнитопровод 1 охватывается без зазора торцевыми частями двух пар упругих конических втулок 9 – 12, а свободные концы кольцевых выступов 7 и 8 охватываются без зазора торцевыми частями двух пар упругих конических втулок 11 – 14. Любая смежная пара двух конических втулок (9, 10 и 11, 12 или 11, 12 и 13, 14) в последовательном ряду расположена симметрично относительно срединной плоскости 16 соответствующего кольцевого магнитопровода. Секции измерительных обмоток 17 и 18 охватывают соответствующие стержни 19 и 20, расположенные между соседними сквозными щелями 3 и 4 кольцевых магнитопроводов 1 и 2. Все секции измерительной обмотки 17 кольцевого магнитопровода соединены между собой последовательно-встречно. Также соединены секции обмотки 18 кольцевого магнитопровода 2. Полученные таким образом две обмотки датчика усилии включены в смежные плечи мостовой измерительной схемы (рис. 2) .

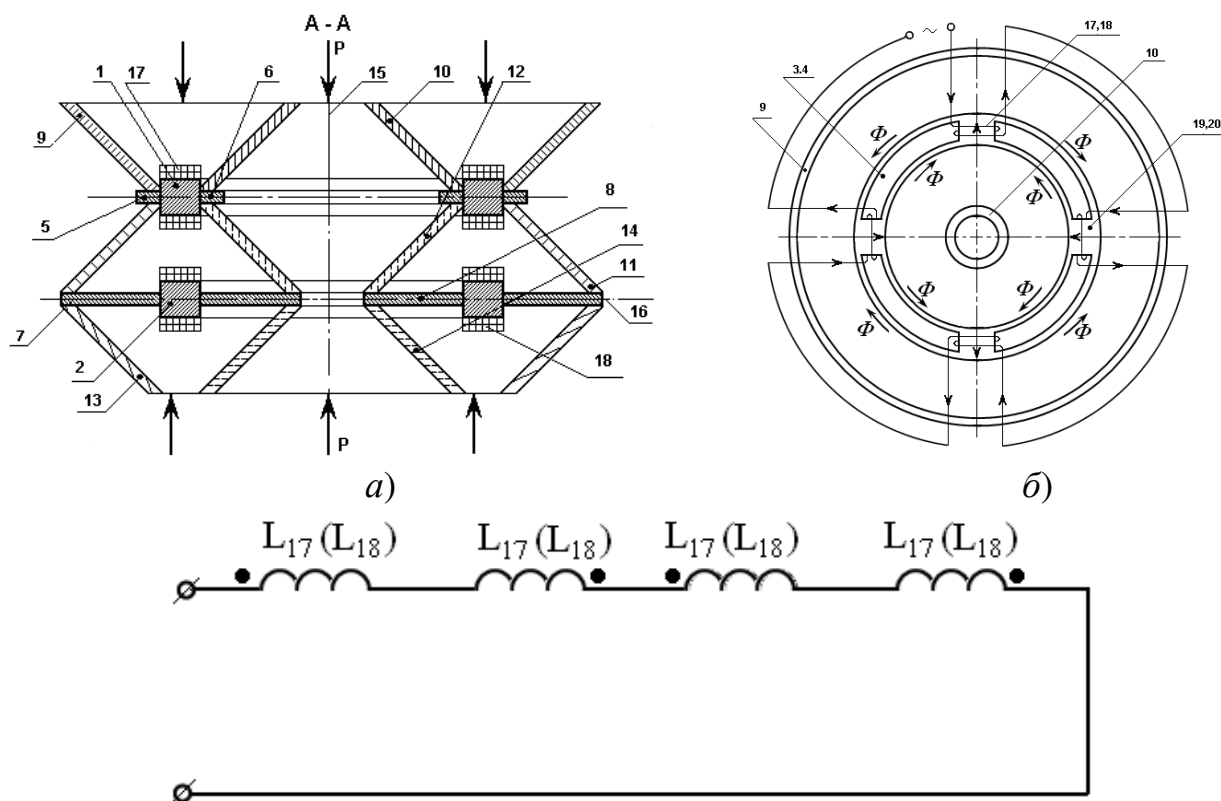


Рис. 1. Электрическая схема соединения секций измерительных обмоток датчика: а - датчик в разрезе А – А; б – вид датчика сверху; в - электрическая схема секций измерительных обмоток датчика

Магнитоупругий датчик усилии работает следующим образом. При отсутствии измеряемого усилии P , действующего на крайние в

последовательном ряду пары упругих конических втулок 9, 10 и 13, 14. мостовая измерительная схема уравновешена и сигнал, снимаемый с диагонали моста, равен нулю. При приложении сжимающего усилия вдоль оси 15 конические втулки 9 – 14 упруго деформируются следующим образом. Диаметр конуса большего размера увеличивается, а диаметр меньшего – уменьшается (т.е. происходит упругая осадка конических втулок 9 – 14). Такая деформация конических втулок 9 – 14 вызывает сжимающие напряжения в кольцевом магнитопроводе 1 и растягивающие напряжения в кольцевом магнитопроводе 2. Вследствие этого изменяются индуктивности обмоток 17 и 18 кольцевых магнитопроводов 1 и 2 (за счет изменения магнитной проницаемости материала магнитопровода), причем индуктивность одной из них увеличивается, а индуктивность другой – уменьшается. Такое изменение индуктивностей обмоток 17 и 18 приводит к разбалансу мостовой измерительной схемы и появлению на выходе сигнала, пропорционального прилагаемому усилию.

Благодаря разработанному конструктивному исполнению кольцевых магнитопроводов, введению дополнительных упругих конических втулок и их зеркальное расположение с уже имеющимися упругими втулками обеспечивается одновременное и двухстороннее приложение механических напряжений (к наружным и внутренним поверхностям кольцевых магнитопроводов), в результате чего повышается чувствительность датчика.

На рис. 2. представлена блок схема разработанного измерительного преобразователя постоянного тока [5]; на рис. 2 – эпюры напряжений в различных точках схемы.

Он содержит МТМ 1, два конъюктора 2 и 3, генератора заполнения (ГЗ), два счетчика импульсов 5 и 7 и арифметического блока (АрБ) 6. Выход трансформаторного автогенератора – МТМ 1 соединен с входами первого конъюктора 2 и второго конъюктора 3, выход ГЗ 4 соединен с другими входами первого конъюктора 2 и второго конъюктора 3, выход первого конъюктора 2 через первый счетчик 5 соединен с одним из входов АрБ 6, а выход второго конъюктора 3 через второй счетчик 7 соединен с другим входом АрБ 6.

Устройство работает следующим образом. При подмагничивании сердечника трансформаторного автогенератора 1 преобразуемым током скважность генерируемых импульсов меняется из-за смещения рабочей точки по петле гистерезиса в ту или иную сторону (рис. 2) генератор заполнения 4

генерирует импульсы более высокой частоты, чем трансформаторный автогенератор 1. Эти импульсы через первый конъюктор 2 и второй конъюктор 3 поступают на входы первого счетчика 5 и второго счетчика 7. При этом счетчик 5 считает количество импульсов, пропорциональное величине T_1 , счетчик 7 – количество импульсов, пропорциональное длительности полупериода T_2 . Цифровые эквиваленты величин T_1 и T_2 поступают в арифметический блок 6, выполняющий операцию $\frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}$. Выходной сигнал этого блока – цифровой эквивалент измеряемого тока.

Длительности интервалов T_1 и T_2 пропорциональны величине измеряемого тока, а знак разности $(T_1 - T_2)$ несет информацию о его направлении.

Нестабильность рабочей частоты МТМ не оказывает влияния на точность преобразования, так как в реализуемой функции $\frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}$ величина $T = T_1 + T_2$ стоит в знаменателе, в результате чего изменения периода автоколебаний МТМ под воздействием внешних факторов не влияет на величину, получающийся в результате вычислений.

Следует отметить, что выходные сигналы арифметических блоков предлагаемого устройства и её прототипа пропорциональны одной и той же величине, т.е.:

$$\frac{T_1 - \frac{T}{2}}{\frac{T}{2}} = \frac{T_1 \frac{T_1 + T_2}{2}}{\frac{T_1 + T_2}{2}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}$$

Таким образом, в разработанном измерительном преобразователе постоянного тока достигается точно такой же результат, как и у его прототипа, но только без участия в схеме триггера и делителя. Исключение из схемы предлагаемого устройства элементов триггера и делителя упрощает его конструктивное исполнение и повышает его элементную надежность.

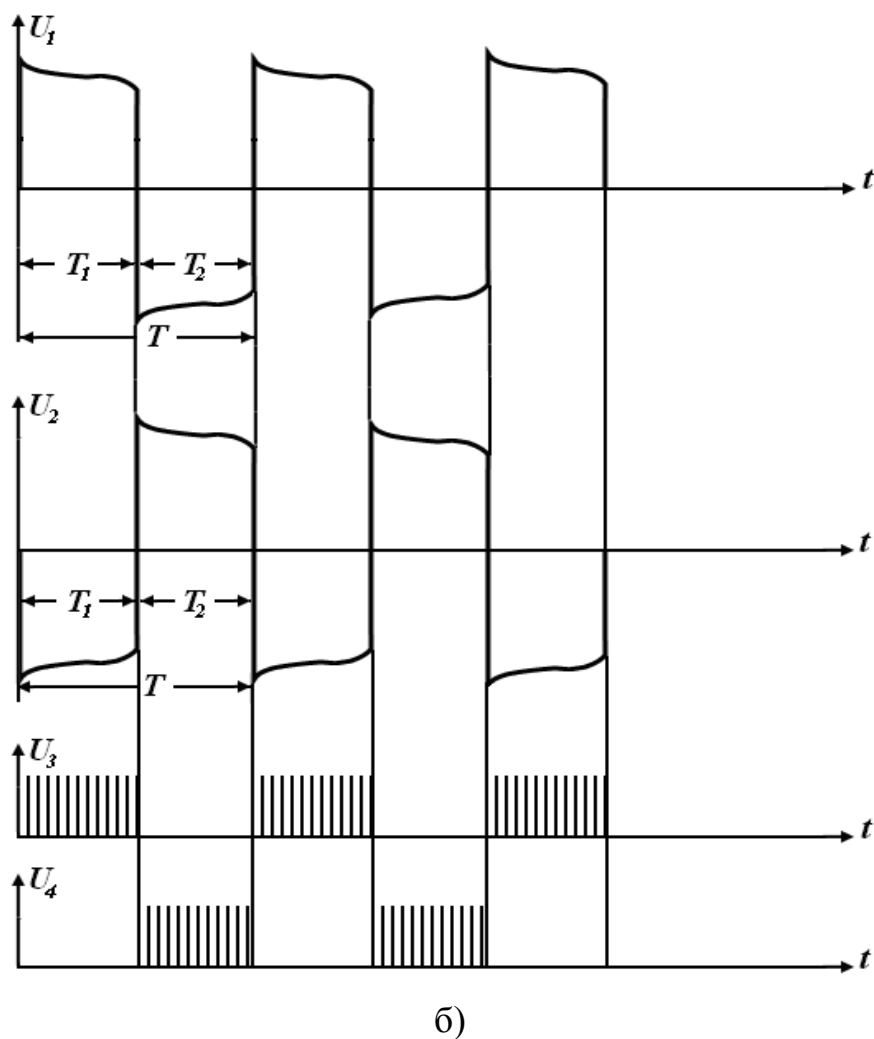
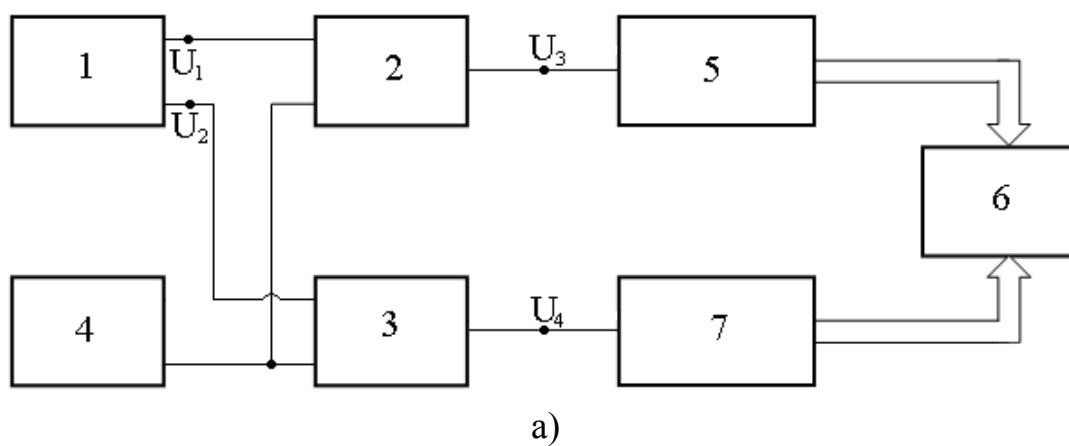


Рис. 2. Функциональная схема МППТ (а) и эпюры напряжения в различных точках этой схемы (б)

Список литературы

1. Смирнов, В. И. Методы и средства функциональной диагностики и контроля технологических процессов на основе электромагнитных датчиков /

Ульяновский государственный технический университет. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 190 с.

2. Урлапов, О. Г. Разработка и исследование быстродействующих измерительных преобразователей индуктивного типа для функциональной диагностики электрических машин: дисс. ... к.т.н. Ульяновский государственный технический университет. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 131 с.

3. Патент РУз, Uz № IAP 04866. Магнитоупругий датчик усилий / С. Ф.Амиров, К. К. Жураева, З. Г. Назирова, О. Т. Болтаев, Ш. А. Шарапов, Ж. С. Файзуллаев // Официальный вестник. – 2014. – №4

4. Амиров, С. Ф. Исследование магнитных цепей магнитоупругих датчиков усилий. Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление» / С. Ф. Амиров, К. К. Жураева. – Ташкент, 2017 – №1. – С. 43-47.

5. Положительное решение. Агентства по интеллектуальной собственности РУз от 02.03.2018 г. о выдаче патента на изобретение по заявке № IAP 20160029. Измерительный преобразователь постоянного тока/ С. Ф. Амиров, К. Х. Турдибеков, Д. Ш. Рустамов, Н. О. Атауллаев, Ж. С. Файзуллаев. – Заявлено 02.02.2016.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жураева Камила Комиловна

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Алдылходжаева – 1, 100167, г. Ташкент,
Республики Узбекистан.
Докторант.
Тел: +998909512773
E-mail: lade00@bk.ru

Файзуллаев Жавхар Султон угли

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ)
ул. Алдылходжаева – 1, 100167, г. Ташкент,
Республики Узбекистан.
Докторант.
Тел: +998712990444

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zhuraeva Kamila Komilovna

Tashkent Institute of Railway Transport
Engineers (TashIIT).
Adylkhodzhaeva st. d.1, 100167, Tashkent,
the Republic of Uzbekistan.
Doctoral Candidate.
Phone: +998909512773
E-mail: lade00@bk.ru

Fayzullaev Javhar Sulton ugli

Tashkent Institute of Railway Transport
Engineers (TashIIT).
Adylkhodzhaeva st. d.1, 100167, Tashkent,
the Republic of Uzbekistan.
Doctoral Candidate.
Phone: +998712990444

Н. В. Ивановцева, Ж. С. Тынышқалиев

Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева
(КазАТК им. М. Тынышпаева), г. Алматы, Республика Казахстан

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Реализация эффективных энергосберегающих технологий на железнодорожном транспорте является одной из актуальных задач. В данной работе, на примере пассажирских вагонов, предлагается применение для системы отопления энергосберегающих гибких нагревательных элементов, которые обладают следующими свойствами: легкий монтаж; антиискровая технология; идеален под ламинат, ковролин; не сушит воздух, без запаха, антиаллергенный эффект; повышенная надёжность при эксплуатации; экономия пространства; снижение затрат на электроэнергию 60%.

Ключевые слова: вагон, отопление, энергосберегающие технологии, углеродный нагревательный элемент.

Natalya V. Ivanovtseva, Zhanibek S. Tynyshkaliyev

The Kazakh academy of transport and communications of M. Tynyshpayev
(KAZATK of M. Tynyshpayev), Almaty, the Republic of Kazakhstan

ABOUT THE POSSIBILITY OF INCREASE IN ENERGY EFFICIENCY HEATING SYSTEMS OF PASSAZHIRSIKY CARS

Implementation of effective energy saving technologies on railway transport is one of relevant tasks. In this work, on the example of cars, application for a heating system of energy saving flexible heating elements which have the following properties is offered: easy mounting; anti-spark technology; it is ideal under laminate, a carpet; does not dry air, flavourless, anti-allergenic effect; the increased reliability at operation; economy of space; cost reduction on the electric power of 60%.

Keywords: car, heating, energy saving technologies, carbon heating element.

Реализация эффективных энергосберегающих технологий на железнодорожном транспорте является одной из актуальных задач. В данной

работе, на примере пассажирских вагонов, предлагается применение для системы отопления энергосберегающих гибких нагревательных элементов.

В 2011 году в Астане был построен завод по производству пассажирских вагонов «Тулпар-Talgo», не имеющий аналогов в СНГ, где производились вагоны по проекту 436 (узкий кузов, ширина 2950 мм) [2]. С 2013 года производятся вагоны по проекту 603 (широкий кузов, ширина 3200 мм). Из положительных сторон новых вагонов Talgo, следует отметить, что они сертифицированы на работу при -50°C , имеют улучшенный дизайн и более просторные купе за счет более широкого кузова. При этом вагоны полностью отвечают требованиям, предъявляемым к эксплуатационной совместимости Евроазиатского Союза (Российская Федерация, Казахстан, Белоруссия, Кыргызстан и Армения) и могут обращаться на территории любого из этих пяти государств.

Система отопления состоит из компактного оборудования кондиционирования воздуха, отопительных резисторов, необходимых датчиков для регулировки температуры в каждом вагоне и термостата для выбора желаемой температуры [1]. Система отопления спального вагона рассчитана на 6 Кw, вагон-ресторана и кафетерия на 14 Кw.

Схема размещения элементов системы отопления в вагоне туристического класса поезда Talgo показана на рис. 1.

В 2001 году совместно Казахстанскими и Южно Корейскими учеными была начата разработка инновационной технологии по производству углеродной нити. В 2005 году достигнуты результаты по исследованиям углеродного волокна. В 2007 году начаты совместные разработки по выпуску продукции в серийное производство. Сама идея создания углеродного волокна принадлежит Казахстанским ученым (интеллектуальная собственность), выпуск продукции (оборудование), финансирование достигнуто за счет средств Южной Корейской стороны.

Компания ТОО НПО «Карбон» на текущий момент имеет патентное право на разработку и производство углеродной нити, не имеющей аналогов на территории СНГ и предлагает комплексное решение вопроса экономичного автономного обогрева, отличающегося от традиционных решений большей экономичностью, безопасностью, легким и быстрым развертыванием системы автономного отопления [3].

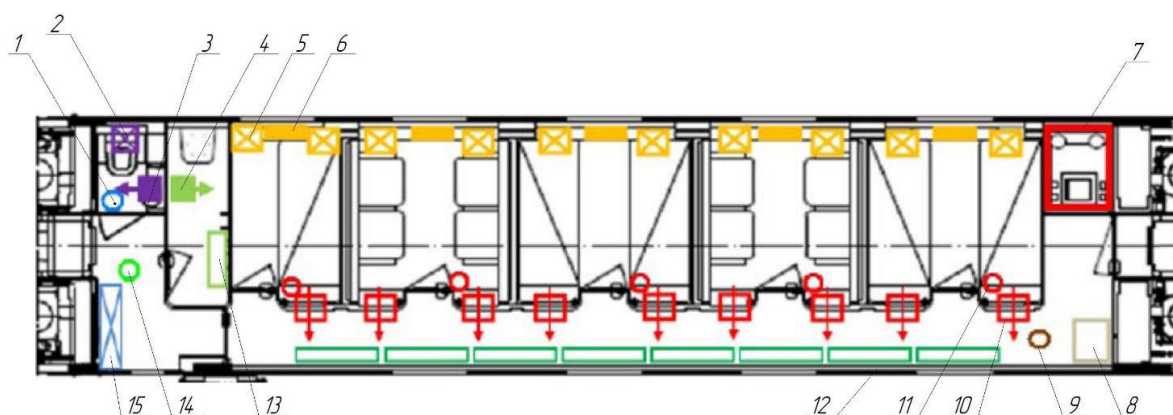


Рис. 1. Схема размещения элементов системы отопления в вагоне туристического класса поезда Talgo:

- 1 – контроль температуры воздуха (входящего); 2 – блок отопления санузла (750 Вт);
 3 – блок отопления санузла (500 Вт); 4 – блок отопления туалетной комнаты (500 Вт);
 5 – блок отопления купе (500 Вт); 6 – блок отопления купе (200 Вт);
 7 – кондиционер (мощность охлаждения 12,2 кВт, мощность отопления 6 кВт);
 8 – блок отопления сидений для проводников (500 Вт); 9 – контроль температуры воздуха обратного хода; 10 – блок отопления воздуха обратного хода из купе (150 Вт); 11 – контроль температуры в купе; 12 – блок отопления коридора (325 Вт);
 13 – блок отопления туалетной комнаты (250 Вт); 14 – контроль температуры в тамбуре;
 15 – блок отопления тамбура (500 Вт + 750 Вт).

Эта новейшая технология использования природного углерода, позволяет добиться максимального результата в новой, инновационной разработке. Есть несколько вариантов исполнения углеродной нити: термическая плёнка, термическая панель и термическая трубка.

Термическая плёнка представляет собой нагревательную сетку, или мат, разного размера - это переплетение продольных и поперечных углеродных нитей, в целях безопасности, которые покрыты электроизоляционным материалом. Тепловым источником в сетке служит нагревательная углеродная нить с токопроводящим слоем без использования металла. Основные преимущества термической плёнки: 1) она экономичнее кабельных аналогов до 20%; 2) позволяет экономить пространство по высоте; 3) повышенная надежность при эксплуатации (из-за параллельного соединения); 4) не требует дополнительных затрат на стяжку и плиточный клей; 5) легкий монтаж без стяжки и клея под любое напольное покрытие, включая ламинат, ковролин и линолеум. Термическая плёнка подходит для использования с любым типом напольного покрытия. Она прогревает помещение быстро и эффективно, при этом экономия электроэнергии составляет не

менее 50-60%, по сравнению с резистивными системами. Использование при этом качественного терморегулятора позволит сэкономить еще не менее 30%

Термическая панель в качестве нагревательного элемента имеет аморфную ленту, состоящую из нихромовой нити, которая обладает высоким КПД использования электроэнергии. Эта лента полностью заполняет всю площадь электрической нагревательной панели, что делает её структуру уникальной и позволяет избежать создания критичных магнитных полей, а так же достичь высоких показателей безопасности. Термическая панель обогревает помещение мягким инфракрасным излучением и не создает интенсивных восходящих потоков воздуха. Преимущества термической панели: 1) в 2 раза экономичней конвектора; 2) в 2 раза экономичней электрического котла; 3) в 1,5 раза дешевле централизованного отопления; 4) простейший монтаж, 5) быстрый нагрев, 6) высокая теплоотдача, 7) бесшумная работа.

Термическая трубка представляет собой стержневой инфракрасный теплый пол для монтажа в тонкую стяжку и плиточный клей. В качестве нагревательных элементов в термической трубке используются высокотехнологичные гибкие стержни из композитного материала на основе карбона (аморфного углерода), серебра и графита.

Термическая трубка на данный момент является самой энергоэффективной системой, которая позволит сэкономить электроэнергию до 60%. Термическая трубка состоит из гибких карбоновых стержней, соединенных параллельно, в отличие от традиционных электрических кабельных полов. Такая система обеспечивает повышенную надежность и долговечность, даже при выходе из строя одного стержня, все остальные продолжают работать. Благодаря свойству саморегулирования такие теплые полы не боятся запыления и последующего перегрева.

Применительно к вагоностроению можно выделить следующие основные преимущества применения энергосберегающих углеродных гибких нагревательных элементов:

- 1) легкий монтаж → снижение трудоёмкости;
- 2) антиискровая технология → пожаробезопасность;
- 3) идеален под ламинат, ковролин → используется в качестве напольный покрытий в вагонах;
- 4) не сушит воздух, без запаха, антиаллергенный эффект → экологичность;

- 5) повышенная надёжность при эксплуатации→ увеличение срока службы (гарантия 15 лет);
- 6) экономия пространства→ неотъемлемое требование для вагонов;
- 7) снижение затрат на электроэнергию 60%→ реализация политики энергосбережения.

Перечисленные факты свидетельствуют о целесообразности применения углеродных гибких нагревательных элементов в системе отопления, в частности, для пассажирских вагонов.

Список литературы

1. Отчётные данные о деятельности «Patentes Talgo S.L.» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.talgo.com>.
2. Руководство по техническому обслуживанию вагонов «Talgo». – Алматы, 2013г.
3. Теплый дом, теплый пол, обогреватели, обогрев жилых, офисных и производственных помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://too-npokarbon.kazprom.net/>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ивановцева Наталья Викторовна

Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева (КазАТК им. М.Тынышпаева).
ул. Шевченко, д. 97, г. Алматы 050012, Республика Казахстан.
Кандат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав» КазАТК им. М.Тынышпаева.
Тел.: +7 (727) 292-56-21
E-mail: stupchenko_n@mail.ru

Тынышқалиев Жәнібек Серікұлы

Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева (КазАТК им. М.Тынышпаева).
ул. Шевченко, д. 97, г. Алматы 050012, Республика Казахстан.
Магистрант гр. МН-ТТ-18.
Тел.: +7 (727) 292-56-21
E-mail: zhanibek1306@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivanovtseva Natalya Viktorovna

The Kazakh academy of transport and communications of M. Tynyshpayev (KAZATK of M. Tynyshpayev).
Shevchenko St., 97, Almaty 050012, Republic of Kazakhstan.
Candatas of technical science, the associate professor «Rolling stock» KAZATK of M. Tynyshpayev.
Ph.: +7 (727) 292-56-21
E-mail: stupchenko_n@mail.ru

Tynyshkaliyev Zhanibek Serikuly

The Kazakh academy of transport and communications of M. Tynyshpayev (KAZATK of M. Tynyshpayev).
Shevchenko St., 97, Almaty 050012, Republic of Kazakhstan.
Undergraduate gr. МН-ТТ-18.
Ph.: +7 (727) 292-56-21
E mail: zhanibek1306@mail.ru

С. М. Сотникова

Тайгинский институт железнодорожного транспорта – филиал Омского государственного университета путей сообщения, г. Тайга, Российская Федерация

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОГО НАЖАТИЯ МЕЖДУ ПОЛОЗОМ ТОКОПРИЕМНИКА И КОНТАКТНЫМИ ПРОВОДАМИ

В работе рассматриваются вопросы, связанные с исследованием взаимодействия токоприемников с контактными проводами, рассмотрены способы измерения контактного нажатия направленные на повышение надежности работы контактной сети и токоприемников, на уменьшение износа контактирующих элементов.

Ключевые слова: токосъем, контактная сеть, контактный провод, токоприемник, датчик, полоз, подвижной состав.

Svetlana M. Sotnikova

Tayga Institute of Railway Transport – a branch of the Omsk State Transport University,
Tayga, the Russian Federation

ANALYSIS OF KNOWN DEVICES FOR MEASURING CONTACT PRESSURE BETWEEN THE SKID OF CURRENT COLLECTOR AND CONTACT WIRES

The article is devoted to the study of the interaction of current collectors with contact wires, methods of measuring contact pressure for improving the reliability of the contact network and current collector and reducing the wear of contacting elements.

Keywords: current collection, contact network, contact wire, current collector, sensor, skid, rolling stock

Механические и физические явления в точке контакта токоприемника и подвески являются сложными и зависят от многих факторов. Исследования взаимодействия токоприемников с контактными проводами проводятся как теоретическими, так и экспериментальными методами и направлены в конечном итоге на повышение надежности работы контактной сети и токоприемников, на уменьшение износа контактирующих элементов.

Основными проявлениями нестабильности контактного нажатия и ухудшения качества токосъема при динамическом взаимодействии

токоприемников с контактными подвесками являются: отрывы, удары, искрения, радиопомехи, недопустимые отжатия проводов.

Токоосъем является удовлетворительным, если не происходит отрыва полоза от контактного провода при максимальной скорости движения. Отрывы приводят к весьма нежелательным последствиям. Это усиленные радиопомехи, удары токоприемников, пережоги контактных проводов, нарушение работы тяговых двигателей и преобразовательных агрегатов, и отдельные случаи повреждение электрооборудования подвижного состава [1].

Обычно при классификации нарушения контакта их подразделяют на следующие три вида [2]. Малые нарушения контакта длительностью до 0,01 с, которые обусловлены главным образом колебаниями контактных пластин токоприемника и контактного провода. Такие небольшие нарушения контакта практически не причиняют вреда в эксплуатации.

Средние нарушения контакта длительностью в пределах 0,02 – 0,1 с возникают в результате толчков и подскоков полоза в тех местах контактной подвески, где имеются изгибы проводов, жесткие точки и т.д. При плохо отрегулированной контактной подвеске такие нарушения контакта приводят к непрерывному образованию видимых искр и усиленному электрическому износу пластин токоприемников и контактных проводов.

Длительные нарушения контакта, более 0,1 с, возникают в результате скачков всего токоприемника после прохождения точек крепления контактного провода. Контактная подвеска вблизи точки опоры имеет большую жесткость, чем в пролете. При определенных условиях начинают складываться инерционные силы, токоприемник уже не успевает следовать за всеми движениями контактного провода и контакт между ними нарушается.

В практике эксплуатации контактной подвески существуют различные способы регистрации отрывов полоза от проводов в процессе движения. Простейшим методом регистрации нарушения контакта (отрыва) является заземление контактных проводов и замер с помощью вспомогательного напряжения, что связано с обесточиванием контактной подвески и невыполнимо без нарушения нормального движения на линии [6].

В настоящее время широкое распространение получили электронные способы регистрации отрывов (рис. 1).

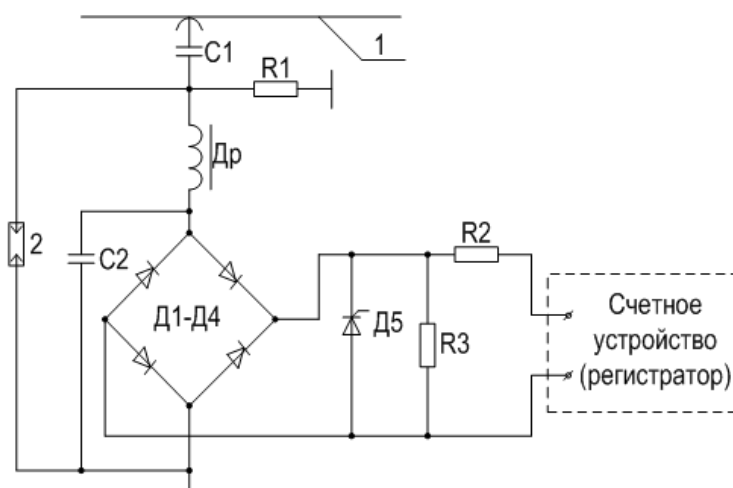


Рис.1. Схема регистрации отрывов:

1 – контактный провод; 2 – разрядник

Схема одного из таких устройств (рис. 2), состоит из ферритовой антенны с резонансным контуром 1, высокочастотного усилителя 2, экрана 3 с калиброванной щелью и располагаются на крыше испытательного вагона, таким образом, чтобы датчик находился над осью пути, антенна была ориентирована перпендикулярно направлению движения, а щель экрана 3 направлена на лыжу токоприемника. Механизм счета и регистрации находится в вагоне-лаборатории. Сигнал от датчика отрывов передается посредством экранированного кабеля.

При отрыве токоприемника возникает искрение или электрическая дуга с выделением электромагнитной энергии, которая воспринимается ферритовой антенной и передается в блок регистрации.

Рассмотренный датчик отрыва разработан в двух вариантах: стационарный для вагона-лаборатории и индивидуальный для обслуживания персонала контактной сети. Недостатки таких датчиков заключаются в том, что они реагируют на отрывы определенной длительности.

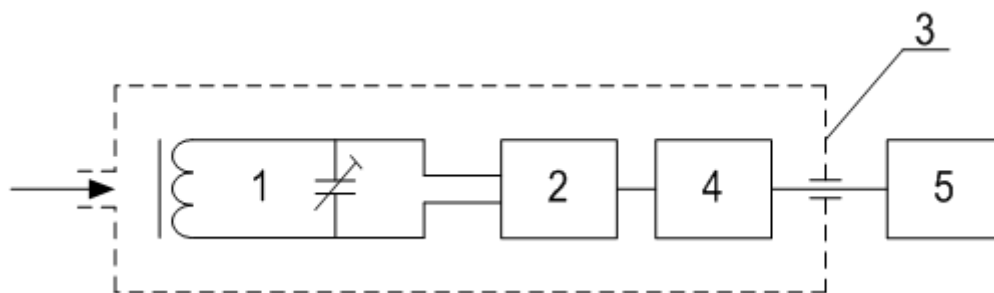


Рис. 2. Схема устройства для автоматической регистрации отрывов:

1 – резонансный контур; 2 – высокочастотный усилитель; 3 – экран;

4 – дискриминатор длительности отрывов; 5 – механизм счета и регистрации

При экспериментальных исследованиях новых типов токоприемников и устройств контактной сети дополнительно производится измерение ускорений элементов токоприемников, используется ускоренная киносъемка токосъема, применяются промышленные телевизионные установки, измеряется аэродинамическая составляющая нажатия в контакте [3].

Для фиксации жестких точек на контактной подвеске используются датчики установленные на полозе токоприемника. В качестве датчиков широко используются электродинамические микрофоны или телефонные капсулы, которые подключаются через усилители к фиксирующему реле.

Рассмотренные устройства не всегда позволяют объективно оценить качество взаимодействия токоприемников с контактными подвесками. Отрывы, удары, радиопомехи не полностью характеризуют состояние динамического контакта, так как не учитывают малые и большие величины контактного нажатия, которые ведут к интенсивному износу контактирующих элементов.

Нажатие между контактными пластинами токоприемника и контактным проводом необходимо контролировать и регистрировать, так как оно является одним из основных механических факторов, определяющих качество токосъема, и может являться необходимым критерием работы скользящего контакта. Знать величину этого нажатия необходимо не только при проведении токосъемных испытаний, но и при текущей проверке состояния контактной подвески вагоном-лабораторией.

Сложность измерения контактного нажатия связана с горизонтальными перемещениями контактного провода относительно полоза токоприемника (вследствие зигзагов и выносов). Рассмотрим некоторые способы измерения контактного нажатия. Наиболее простым является регистрация деформации пружин кареток. Этот способ нельзя считать достоверным ввиду большой инерционности движущихся элементов полоза и верхнего узла токоприемника.

Наиболее удачным способом измерения контактного нажатия с помощью тензометрических датчиков сопротивления представляется способ, предложенный И. А. Беляевым [4]. Возможность непосредственного измерения контактного нажатия на полозе токоприемника была получена в результате разработки и изготовления специального полоза (рис. 3). Измерительный полouz, в этом случае, имеет вместо контактных медных пластин тонкие стальные

пластины 1, прикрепленные к полозу болтами. Между пластинами и корпусом полоза проложена пористая резина. В принятой конструкции имеется двенадцать измерительных зон. Основным измерительным элементом являются проволоочные тензодатчики, которые наклеены на нижней поверхности стальных пластин. Датчики в каждой зоне собираются в мостовую схему, питание и усиление которой происходит в многоканальных электронных усилителях. Регистрация измеряемых величин производится на ленту шлейфового осциллографа, число шлейфов которого должно соответствовать числу измерительных зон полоза.

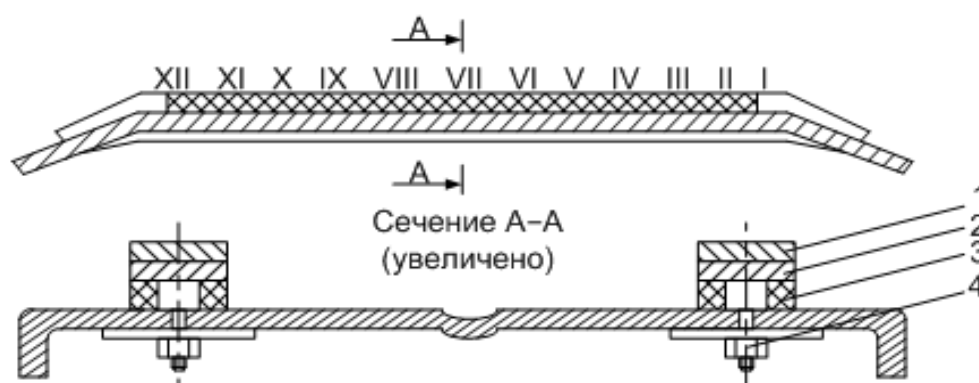


Рис. 3. Тензометрический полз ЦНИИ МПС:

I – XII – измерительные зоны; 1 – текстолитовая пластина; 2 – стальная пластина; 3 – пористая резина; 4 – болт крепления

Недостатком этого способа является наличие “мертвых зон” в местах крепления винтов, невозможность замера нажатия на рабочем токоприемнике (под током), необходимость иметь многоканальные усилители и осциллографы. Кроме того, не предусматривается измерение нажатия, распределенного по передней и задней токосъемными пластинами в отдельности.

В Уральском отделении ЦНИИ МПС разработан полз для измерения контактного нажатия с помощью тензорезисторов, наклеенных непосредственно на полз.

В РИИЖТе предложен полз для замера контактного нажатия с помощью индуктивных датчиков.

Следует обратить внимание на устройство для измерения контактного нажатия полоза токоприемника, разработанной фирмой АЕГ. Оно представляет собой плоско-пружинную подвеску полоза с угольными контактными вставками, встроенную между ползом и несущими конструкциями

токоприемника. Полоз подвешен на четырех плоских пружинах, прогиб которых фиксируется, установленными на них тензометрическими датчиками.

Недостатком этого способа является также большая подрессоренная масса (практически масса полоза), следовательно, большая инерционная погрешность.

Список литературы

1. Механика скользящего контакта. Влияние механических факторов на электрический скользящий контакт / В. И. Нэллин [и др.]. – М.: Транспорт, 1966. – 256 с.

2. Беляев, И. А. Взаимодействие токоприемника и контактной сети при высоких скоростях движения / И. А. Беляев. – М.: Транспорт, 1968. – 160 с.

3. Беляев, И. А. Вагоны для испытания контактной сети / И. А. Беляев // Бюллетень технико-экономической информации МПС. – 1957. – № 8. – С. 19.

4. Беляев, И. А. Устройство для измерения контактного давления на полозе токоприемника / Авторское свидетельство 162872 СССР. – опубл. 1964, Б. И. № 11.

5. Беляев, И. А. Устройство для автоматического определения качества взаимодействия пантографа и контактного провода / Е. П. Фигурнов, В. В. Муханов, В. М. Назаренко (СССР) // Авторское свидетельство 330051 СССР. – опубл. 1972, Б. И. № 8.

6. Беляев, И. А. Устройство для регистрации отрывов токоприемника / Е. П. Фигурнов, В. В. Муханов (СССР) // Авторское свидетельство 347220 СССР. – опубл. 1972, Б. И. № 24.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Сотникова Светлана Михайловна

Тайгинский институт железнодорожного транспорта – филиал Омского государственного университета путей сообщения.

Молодежная ул., д. 13, г. Тайга 652401, Российская Федерация.

Преподаватель ТИЖТа (филиала ОмГУПС).

Тел.: 89505851070

E-mail: al.vorotnik@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sotnikova Svetlana Mikhailovna

Tayga Institute of Railway Transport – a branch of the Omsk State Transport University.

13, Molodezhnaya st., Tayga 652401, the Russian Federation.

Teacher of TIRT (branch of OSTU).

Phone: 89505851070

E-mail: al.vorotnik@gmail.com

¹Р. С. Литвиненко, ¹М. В. Ферапонтова, ²А. Р. Литвиненко

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Российская Федерация,

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ

Рассмотрен подход к оценке пропускной способности городской электротранспортной системы с учетом надежности элементов инфраструктуры: тяговых подстанций, контактной сети; рельсовой линии и подрельсового основания (в случае рельсового транспорта). В качестве коэффициента надежности, позволяющего учитывать влияние отказов этих элементов на пропускную способность, предложено использовать коэффициент оперативной готовности.

Ключевые слова: электрический транспорт, надежность, пропускная способность, коэффициент оперативной готовности.

¹Ruslan S. Litvinenko, ¹Maria V. Ferapontova, ²Anastasia R. Litvinenko

¹Kazan state power engineering university, Kazan, the Russian Federation,

²State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, the Russian Federation

APPROACH TO BANDWIDTH ESTIMATION FOR URBAN ELECTRIC TRANSPORT SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE RELIABILITY

The approach to bandwidth estimation of urban electric transport system, taking into account the dependability of the infrastructure elements of traction substations, a contact network; rail lines and rail base (in the case of rail transport). As a safety factor, allowing to consider the impact of failure of these elements on throughput, is proposed to use the operating instantaneous availability.

Keywords: electric transport, dependability, bandwidth, operating instantaneous availability.

Городской электрический транспорт (ГЭТ) предназначен для осуществления городских перевозок пассажиров и может включать такие виды городского транспорта с электрическим приводом колес как трамвай, троллейбус,

метрополитен, электробусы, монорельсовый электрический транспорт и т.д. Проектирование городской электротранспортной системы (ГЭТС) осуществляют с учетом обеспечения комфортабельной перевозки пассажиров к месту назначения в минимально короткие сроки. Основными преимуществами этого вида транспорта являются высокая производительность и экологичность.

Важнейшим параметром оценки транспортной линии является ее пропускная способность, а в совокупности с провозной способностью она определяет место транспортного комплекса в общей системе городского пассажирского транспорта.

Под пропускной способностью транспортной линии или полосы движения ГЭТ понимается наибольшее количество единиц подвижного состава, которое может быть пропущено через ее поперечное сечение в одном направлении в течение 1 часа. Пропускная способность представляет собой максимальную интенсивность движения J_{max} транспортных средств

$$J = \frac{N_{дв}}{t},$$

где $N_{дв}$ - количество транспортных единиц (ТЕ), проходящих через поперечное сечение дороги или полосы движения в единицу времени t .

Анализ существующего научно-методического аппарата оценки пропускной способности ГЭТ, и его сравнение с методологией расчета пропускной способности железных дорог [1], позволяет сделать ряд замечаний:

1. Существующие методы расчета пропускной способности транспортных линий ГЭТ достаточно устарели и не учитывают современного состояния элементов ГЭТС. Публикации по этой проблематике относятся к 60-80-ым годам прошлого века. Исследования пропускной способности железных дорог, в отличие от ГЭТ, были актуализированы в начале 2000-ых годов, в частности в 2010 году была утверждена Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог [1].

2. В качестве временных единицы измерения пропускной способности транспортных линий ГЭТ приняты часы, а провозной способности соответственно перевезенное количество пассажиров в час. Так как пассажиропотоки в сетях ГЭТС меняются по часам суток, дням недели, месяцам и сезонам года, брать в качестве временного интервала один час, не корректно. Необходимо проводить оценивание этих показателей хотя бы для суточного периода, чтобы повысить точность и достоверность получаемых результатов.

3. Исследования, проведенные во ВНИИЖТе в 60-70 годах прошлого века, показали, что на использование пропускной способности участков железной дороги влияет уровень надежности технических средств (локомотивов, вагонов, путевых устройств, СЦБ и др.). Рост отказов привел к тому, что их стали учитывать при расчете пропускной способности соответствующим коэффициентом надежности α_H [1, 2]

$$N_{\text{нал}} = \frac{(1440 - t_{\text{техн}})\alpha_H}{I},$$

где $t_{\text{техн}}$ – продолжительность свободного от поездов промежутка времени, предоставляемого для выполнения работ по текущему содержанию пути, устройств, сооружений и т.д.);

I – межпоездной интервал.

Аналогично железнодорожному транспорту, отказы элементов ГЭТ и инфраструктуры транспортной линии оказывают значительное влияние на эффективность пассажирских перевозок [3, 4], поэтому возникает объективная необходимость учета влияния надежности на пропускную способность ГЭТС. Рассмотрение этого вопроса должно проводиться в комплексе с учетом взаимодействия и взаимного влияния всех составляющих процесса пассажироперевозок.

Таким образом, формулы оценки пропускной способности элементов транспортной инфраструктуры ГЭТС в суточном интервале времени с учетом влияния отказов примут следующий вид

пропускная способность перегона наземной линии ГЭТ

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{3600V(24 - t_{\text{техн}})\alpha_H}{t_p V + \frac{V^2}{2b} + l + l_0},$$

пропускная способность регулируемых перекрестков наземной линии ГЭТ

$$\Pi_{\text{рег}} = \frac{3600(t_3 - \Delta t)(24 - t_{\text{техн}})\alpha_H}{T_c t_p},$$

пропускная способность перекрестка с принудительной системой регулирования для троллейбуса

$$\Pi_{\text{пр.рег}} = \frac{1200(t_3 - \Delta t)(24 - t_{\text{техн}})\alpha_H}{T_c t_p},$$

пропускная способность перекрестка с принудительной системой регулирования для трамвая

$$\Pi_{\text{пр.рег}} = \frac{3600K(24 - t_{\text{техн}})\alpha_H}{T_c},$$

пропускная способность трамвайного узла

$$\Pi_{уз} = \frac{3600V(24-t_{техн})\alpha_n}{(l_n+l_k)+t_{в}V_{с.п}+\frac{V_{с.п}^2}{2b}},$$

где V - скорость движения на перегоне, м/с;

t_p – время реакции водителя (до 1,5 с), с;

b – замедление при экстренном торможении, м/с²;

l – длина подвижного состава, м;

l_0 – зазор безопасности между следующими друг за другом транспортными единицами, обычно принимается равным длине поезда, м;

$t_з$ – продолжительность зеленой фазы светофора, с;

Δt - время между включением разрешающего сигнала светофора и пересечением стоп-линии первым транспортным средством (1..3 с);

T_c - продолжительность цикла светофорного регулирования (обычно 40..75 с, при желтой фазе 3..5 с).

K – количество ТЕ, пропускаемых за один цикл;

l_k – расстояние между серийным и шунтовым контактами (принимается 50 м);

$t_{в}$ – время реакции водителя (0,6...0,8 с) и срабатывания устройства (около 1 с);

$V_{с.п}$ – скорость прохождения участка со стрелочным переводом (при движении со стороны крестовины 15 км/ч, в сторону крестовины 5 км/ч).

Для приведения часовой пропускной способности к суточному интервалу был введен множитель $(24 - t_{техн})$, где $t_{техн}$ - продолжительность суточного бюджета времени, выделяемого для производства плановых работ по текущему содержанию пути, устройств и сооружений. Как правило, эти мероприятия выполняются во время ночного перерыва в работе ГЭТ и составляют от 4 до 6 часов. В отличие от железной дороги для проведения этих мероприятий в системе ГЭТ нет необходимости искать возможность предоставления технологических «окон» в графике движения поездов, что значительно облегчает работу ремонтных бригад. В тоже время проведение неплановых ремонтов по устранению внезапных отказов инфраструктуры ГЭТ может привести к остановке процесса пассажироперевозок на участке, тогда как железнодорожный транспорт имеет возможность в случае грузовых перевозок изменить маршрут, либо ликвидировать отставания за счет последующего увеличения скорости.

Рассмотрим, какой физический смысл вкладывается в понятие коэффициента надежности α_n . В Инструкции по расчету наличной пропускной способности железных дорог [1] под коэффициентом надежности α_n понимается коэффициент, учитывающий надежность работы технических средств (инфраструктуры и подвижного состава), и даются фиксированные значения в зависимости от числа главных путей (однопутные или двухпутные линии) на перегоне и вида тяги (электрическая или тепловозная тяга). Автор [5] в качестве показателя надежности $R(t)$ технических средств железнодорожного транспорта использует следующее выражение

$$R(t) = K_T P(t), \quad (1)$$

где K_T - коэффициент готовности (вероятность того, что в произвольный момент времени техническая система исправна и готова к работе);

$P(t)$ – вероятность безотказной работы технической системы;

t – длительность заданного интервала времени.

В терминах теории надежности техники нет такого показателя, как коэффициент надежности, но исходя из (1) и ГОСТа [6], можно сделать вывод, что в качестве показателя надежности технических средств железнодорожного транспорта используется коэффициент оперативной готовности, так как при определенных условиях он представляет собой произведение коэффициента готовности и вероятности безотказной работы. Под коэффициентом оперативной готовности техники [6] понимается вероятность того, что изделие в момент времени t_1 находится в работоспособном состоянии и, начиная с этого момента, выполнит требуемую функцию при данных условиях в интервале (t_1, t_2) . В связи с вышеизложенным под коэффициентом надежности α_n , используемым при оценке пропускной способности транспортной линии ГЭТ, будем понимать коэффициенты оперативной готовности $K_{o.r}(t_1, t_2)$, соответствующих элементов транспортной инфраструктуры ГЭТС.

В [3, 4] было предложено рассматривать ГЭТС с позиций системного подхода как сложную техническую систему, состоящую из большого числа элементов, объединенных в следующие подсистемы, непосредственно участвующие в передаче и превращении электроэнергии в механическую работу тяговых электродвигателей в условиях воздействия внешней среды:

подсистема тяговых единиц (парк ТЕ);

подсистема тяговых подстанций;

подсистема контактной сети;
подсистема рельсовой линии (для трамвая);
подсистема подрельсового основания (для трамвая).

Предложенный системный подход к рассмотрению ГЭТС дает возможность решать задачи по повышению эффективности функционирования с учетом взаимодействия ее составляющих, так как, усовершенствуя только элементы тягового подвижного состава без модернизации обеспечивающей транспортной инфраструктуры, достигнуть повышения каких либо количественных показателей дорожного движения не получится.

С учетом этих положений, и с целью учета влияния уровня надежности различных компонентов транспортной инфраструктуры на пропускную способность транспортной линии ГЭТС, формулы для определения коэффициента надежности по видам ЭТ примут следующий вид

для троллейбусной линии

$$\alpha_{\text{н}}^{\text{тролл}}(t_1, t_2) = K_{\text{о.г.}}^{\text{тролл}} = \prod_{i=1}^2 K_{\text{о.г.}i}(t_1, t_2),$$

для трамвайной линии

$$\alpha_{\text{н}}^{\text{трам}}(t_1, t_2) = K_{\text{о.г.}}^{\text{трам}} = \prod_{i=1}^4 K_{\text{о.г.}i}(t_1, t_2),$$

где $K_{\text{о.г.}1}(t_1, t_2)$ - коэффициент оперативной готовности тяговых подстанций;

$K_{\text{о.г.}2}(t_1, t_2)$ – коэффициент оперативной готовности участка контактной сети;

$K_{\text{о.г.}3}(t_1, t_2)$ - коэффициент оперативной готовности участка рельсовой линии;

$K_{\text{о.г.}4}(t_1, t_2)$ – коэффициент оперативной готовности участка подрельсового основания.

Используемые показатели надежности в настоящее время регламентированы для железнодорожного транспорта и его инфраструктуры [7-10], но с учетом особенностей эксплуатации могут быть использованы для ГЭТ. Таким образом, применяя коэффициент оперативной готовности в качестве коэффициента надежности соответствующих компонентов (контактной сети, тяговых подстанций, рельсовой линии и подрельсового основания) ГЭТС, находящихся в пределах занимаемых элементами транспортной линии (перегоны, перекрестки, узлы и т.д.), можно скорректировать величину наличной пропускной способности пассажирских маршрутов.

Таким образом, проанализировав влияние надежности всех подсистем в составе ГЭТС на пропускную и провозную способности, можно определить ее место в структуре городских пассажирских перевозок. Предложенный подход может быть использован для выявления наименее надежных элементов транспортной инфраструктуры, оказывающих влияние на процесс пассажироперевозок ГЭТС, и в случае необходимости принять меры по повышению их эффективности. При создании новых пассажирских маршрутов или модернизации старых описанная методика позволяет практически оценить прогнозируемые показатели дорожного движения, и соответствие элементов инфраструктуры транспортной линии возможностям планируемых к использованию ТЕ.

Список литературы

1. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 16.11.2010, №128. – 305 с.
2. Левин Д. Ю. Расчет и использование пропускной способности железных дорог: Монография / Д. Ю.Левин, В. Л.Павлов. – М.:ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. –364 с.
3. Литвиненко Р. С. Исследование технической надежности городской электротранспортной системы. / Р. С.Литвиненко, А. Э.Аухадеев, О. А.Филина – Транспорт: наука, техника, управление, 2017, №8. – с.60 – 71.
4. Павлов П. П. К вопросу оценки надежности электротранспортной системы города. / П. П. Павлов, Р. Г. Идиятуллин, Р. С. Литвиненко – Бюллетень транспортной информации, 2017, №5(263) – с.23 – 26.
5. Ивницкий В. А. Надежность технических средств железнодорожного транспорта и ее связь с пропускной способностью направлений. / В. А.Ивницкий – Вестник ВНИИЖТ, 2008, №1. – с.6 – 9.
6. ГОСТ Р 53480 – 2009. Надежность в технике. Термины и определения. // Введ. впервые. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 33 с.
7. ГОСТ Р 55444 – 2013. Железнодорожное электроснабжение. Номенклатура показателей надежности и функциональной безопасности.// Введ. впервые. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 14 с.

8. ГОСТ Р 55443 – 2013. Железнодорожный путь. Номенклатура показателей надежности и функциональной безопасности.// Введ. впервые. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

9. ГОСТ Р 54461 – 2011. Надежность железнодорожного тягового подвижного состава. Термины и определения. //Введ. впервые. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 20 с.

10. ГОСТ 32192 – 2013. Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения. //Введ. впервые. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 32 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Литвиненко Руслан Сергеевич

Казанский государственный
энергетический университет (КГЭУ).
ул.Красносельская, 51, 420066, г. Казань,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электротехнические комплексы и системы»
КГЭУ.
Тел.: 89172546330
E-mail: litrus277@yandex.ru

Литвиненко Анастасия Руслановна

Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения (ГУАП).
ул. Большая Морская, д. 67, лит. А,
190000, г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация.
Студент ГУАП
Тел.: 89172546330
E-mail: litrus277@yandex.ru

Ферапонтова Мария Владиславовна

Казанский государственный
энергетический университет (КГЭУ).
ул. Красносельская, 51, 420066,
г. Казань, Российская Федерация.
Бакалавр КГЭУ.
Тел.: 89172546330
E-mail: litrus277@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Litvinenko Ruslan Sergeevich

Kazan state power engineering university
(KGEU).
Krasnoselskaya st., 51, 420066, Kazan,
Russian Federation.
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the department «Electrotechnical
Complexes and Systems» KGEU.
Phone.: 89172546330
E-mail: litrus277@yandex.ru

Litvinenko Anastasia Ruslanovna

State University of Aerospace Instrumentation
(SUAI).
Bolshaya Morskaya st., d. 67, lit. A, 190000,
St. Petersburg, the Russian Federation.
Student SUAI
Phone.: 89172546330
E-mail: litrus277@yandex.ru

Ferapontova Maria Vladislavovna

Kazan state power engineering university
(KGEU).
Krasnoselskaya st., 51, 420066, Kazan,
Russian Federation.
Bachelor KGEU.
Phone.: 89172546330
E-mail: litrus277@yandex.ru

В. В. Харламов, Д. И. Попов, С. О. Руменко

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС, РЕАЛИЗУЮЩИЙ АЛГОРИТМ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАГРУЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В работе представлена схема испытательного комплекса, позволяющая повысить надежность процесса испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки. Представленная схема испытаний снабжена системой управления, которая исключает возможность перегрузки в процессе нагружения испытываемой машины.

Ключевые слова: испытательный комплекс, система управления, асинхронный двигатель, взаимная нагрузка, схема испытаний.

Viktor V. Kharlamov, Denis I. Popov, Sergey O. Rumenko

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

TESTING COMPLEX IMPLEMENTING THE ALGORITHM OF EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE PROCESS OF LOADING AN INDUCTION MOTOR

The article presents a scheme of the test complex, which allows to improve the reliability of the testing process of induction motors by mutual load. The presented test scheme is equipped with a control system that eliminates the possibility of overload during the loading of the test machine.

Keywords: test complex, control system, induction motor, mutual load, test scheme.

Неизбежное замещение привода постоянного тока на асинхронный обусловлено его известными преимуществами – более высокой надежностью и меньшими эксплуатационными расходами. Постепенный переход на асинхронные машины происходит во многих отраслях промышленности, в том числе и на железнодорожном транспорте. Задача широкого внедрения асинхронного тягового привода поставлена в таких основополагающих документах как «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» [1] и «Стратегии развития транспортного машиностроения Российской Федерации до 2030 года» [2]. В настоящее время уже принят в эксплуатацию на сети российских железных дорог целый ряд различных типов подвижного состава с асинхронным тяговым приводом: созданный российской компанией «Группа Синара» [3] при участии немецкого концерна Siemens грузовой электровоз «Гранит» (2ЭС10), спроектированный

Трансмашхолдингом пассажирский электровоз «Олимп» (ЭП20), изготовленный Брянским машиностроительным заводом тепловоз «Витязь» (2ТЭ25А) и др.

Высокая эффективность эксплуатации новых типов подвижного состава может быть обеспечена только при правильной организации процесса технического обслуживания и ремонта. Однако ввиду значительной инерционности процесса введения новых производственных мощностей в локомотивных ремонтных депо актуальной задачей является разработка и внедрение современных испытательных комплексов для обеспечения послеремонтных (приемо-сдаточных) испытаний тяговых двигателей в соответствии с руководящими документами [4].

Вводимые в эксплуатацию новые испытательные комплексы должны обладать наиболее современным уровнем техники и отвечать требованиям высокой энергоэффективности. Наиболее энергозатратным методом испытаний электрических машин, обязательным при выполнении приемосдаточных испытаний [5], является испытание на нагревание в продолжительном режиме.

Наиболее энергоэффективным способом испытаний электрических машин под нагрузкой является метод взаимной нагрузки. Существует ряд известных схем испытаний, позволяющих реализовать данный метод как для машин постоянного тока [6], так и для асинхронных машин [7, 8, 9]. Однако данные технические решения не имеют автоматических или автоматизированных систем управления.

Новая схема электротехнического комплекса для испытаний асинхронных машин, позволяющая реализовать алгоритм эффективного управления [10] представлена на рис. 1.

Система автоматического управления инверторами преобразователей частот позволяет автоматизировать процесс вывода на режим нагрузки асинхронных машин при испытании методом их взаимной нагрузки, с помощью установленных вычислителей частот питающего напряжения, контролирующих частоту питающего напряжения на обмотке статора асинхронных двигателей, датчика скорости, с помощью которого контролируется скольжение асинхронной машины, датчиков тока, позволяющие избежать перегрузок сети, а также задачика параметров сети и асинхронных машин, с помощью которого вносятся номинальные параметры сети и испытуемых двигателей.

Схема (см. рис. 1) работает следующим образом. Напряжение трехфазной сети 1 подается на выпрямители 2 и 3 частотных преобразователей, после чего выпрямленное напряжение протекает через звенья постоянного тока 4 и 5, и подается на инверторы 6 и 7, после чего переменное напряжение требуемой частоты подаётся на асинхронные двигатели 11 и 12.

машиной, работающей в генераторном режиме, передается машине, работающей в двигательном режиме, по звену постоянного тока.

Разработанная схема испытательного комплекса позволяет повысить надежность процесса испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки за счет исключения возможности перегрузки в процессе нагружения испытуемой машины.

Список литературы

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р.

2. Стратегия развития транспортного машиностроения Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 августа 2017 г. № 1756-р.

3. Официальный сайт компании «Уральские локомотивы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ulkm.ru> (Дата обращения: 22.06.2018).

4. Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту тяговых электродвигателей локомотивов. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 02 ноября 2009 г. № 2229р.

5. ГОСТ 2582-2013 Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014.

6. Коварский, Е. М. Испытание электрических машин / Е. М. Коварский, Ю. И. Янко. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.

7. Пат. 140678 Российская федерация, МПК G01R 31/34. Схема испытаний асинхронных двигателей методом их взаимной нагрузки / В. Д. Авилов, Д. И. Попов, А. В. Литвинов (Россия); заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. 2013147519/28; заявл. 24.10.2013; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14.

8. Пат. 143348 Российская федерация, МПК G01R 31/00. Устройство для испытания асинхронных двигателей методом их взаимной нагрузки / В. Д. Авилов, Д. И. Попов, А. В. Литвинов (Россия); заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. 2014112919/28; заявл. 02.04.2014; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20.

9. Пат. 145998 Российская федерация, МПК G01R 31/34. Схема испытаний асинхронных двигателей методом их взаимной нагрузки / В. Д. Авилов, В. В. Харламов, Д. И. Попов, А. В. Литвинов (Россия); заявитель

и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. 2014112920/07; заявл. 02.04.2014; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27.

10. Попов, Д. И. Алгоритм вывода на режим нагрузки асинхронных машин при испытании методом взаимной нагрузки / Д. И. Попов, С. О. Руменко, А. И. Стретенцев // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научной конференции, посвященной Дню российской науки / Омск: ОмГУПС, 2016. – С. 180 – 185.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Харламов Виктор Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электрические
машины и общая электротехника»
ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-18-27.

E-mail: hvv-omgups@mail.ru

Попов Денис Игоревич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Электрические машины и общая
электротехника» ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-18-27.

E-mail: popovomsk@yandex.ru

Руменко Сергей Олегович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.

Аспирант кафедры «Электрические машины
и общая электротехника» ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-18-27.

E-mail: speed-rul@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kharlamov Viktor Vasilevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.

Doctor of Technical Sciences, Professor, head of
the department «Electric machines and general
electrical engineering» OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-18-27.

E-mail: hvv-omgups@mail.ru

Popov Denis Igorevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.

Candidate of Technical Sciences, associate
Professor, associate Professor of the department
«Electric machines and general electrical
engineering» OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-18-27.

E-mail: popovomsk@yandex.ru

Rumenko Sergey Olegovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.

Post-graduate student of the department
«Electric machines and general electrical
engineering» OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-18-27.

E-mail: speed-rul@mail.ru

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА И СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

УДК 621.331.3.024

И. А. Баева

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС),
г. Екатеринбург, Российская Федерация

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА 3,0 кВ ПРИ ВВЕДЕНИИ УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Разработана методика электрического расчета системы тягового электроснабжения (СТЭ) постоянного тока 3,0 кВ с введением устройств регулирования напряжения. Методика представлена в виде алгоритма электрического расчета СТЭ постоянного тока 3,0 кВ с введением устройств регулирования напряжения с оценкой уровня напряжения на токоприемнике электровоза U_e .

Ключевые слова: электрический расчет, постоянный ток, «КОРТЭС», БАРН, методика расчета, пропускная способность, регулирование напряжения.

Irina A. Baeva

Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, the Russian Federation

ALGORITHM OF CALCULATING THE SYSTEM OF TRAFFIC ELECTRICAL POWER SUPPLY OF DC 3.0 KV AT THE INTRODUCTION OF VOLTAGE REGULATING DEVICES

The method of electric calculation (traction power supply) (STE) of a direct current of 3.0 kV with the introduction of voltage control devices has been developed. The technique in the form of an algorithm for electrical calculation of a 3.0 kV DC electrical power supply with the introduction of devices with a decrease in the voltage level at the current collector of the locomotive U_e .

Keywords: electric calculation, direct current, KORTES, BARN, calculation method, throughput, voltage regulation.

На рис. 1 представлен алгоритм электрического расчета системы тягового электроснабжения (СТЭ) постоянного тока 3,0 кВ с введением устройств регулирования напряжения. Электрические расчеты выполняются в программе КОРТЭС. В статье приводится дополненная методика расчета [Траур].

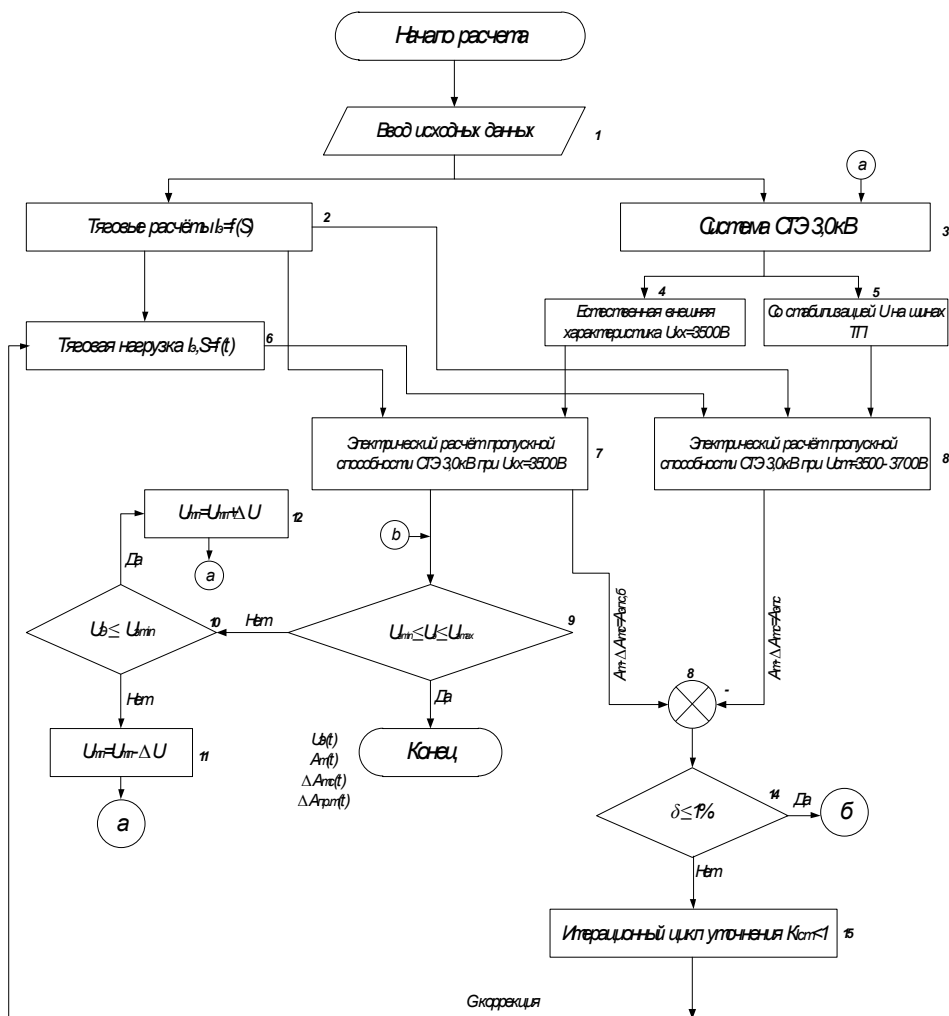


Рис. 1. Алгоритм расчета системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ с введением устройств регулирования напряжения

Алгоритм имеет следующие функциональные блоки:

- 1 – исходные данные;
- 2 – предназначен для выполнения тяговых расчетов;
- 3 – формирование схем, используемых при электрических расчетах СТЭ 3,0 кВ;
- 4 – $U_{xx} = 3500$ В (естественные характеристики при отсутствии устройств регулирования напряжения) режим I;

5 – $U_{\text{ст}} = 3500 \div 3700$ В (стабилизированные характеристики с устройствами регулирования напряжения) режим II;

6 – редактор тяговой нагрузки;

7, 8 – выполнение электрических расчетов для I и II режимов;

9 – проверка условия $U_{\text{э min}} \leq U_{\text{э}} \leq U_{\text{э max}}$;

10 – проверка условия $U_{\text{э}} \leq U_{\text{э min}}$

11, 12 – производится снижение или увеличение уровня напряжения на шинах тяговых подстанций (ТП) и переход в блок 5;

13 – сравнение величин между принятым базовым расходом электрической энергии по счётчикам ЭПС $A_{\text{эпс,б}}$ и полученным расходом ЭЭ с введением устройств регулирования напряжения $A_{\text{эпс}}$;

14 – выполняется итерационный цикл уточнения $K_{\text{Ист}} < 1$;

15 – определение погрешности расчета $A_{\text{эпс,б}}$ и $A_{\text{эпс}}$ $\delta \leq 1$.

Алгоритм дополнен элементом сравнения расхода электрической энергии (ЭЭ) по счетчикам электровозов $A_{\text{эпс}}$ из результатов электрических расчетов пропускной способности СТЭ 3,0 кВ при естественных внешних характеристиках и при введении устройств регулирования (стабилизации) напряжения при уровне 3500 – 3700 В, с заданной погрешностью расчетов (например, 1 %). В блоке 9 выполняется проверка условия уровня напряжения $U_{\text{э min}} \leq U_{\text{э}} \leq U_{\text{э max}}$, при не выполнении условия изменяется уровень напряжения на шинах тяговых подстанций.

Расчеты проводятся для тяговых подстанций с применением системы бесконтактного автоматического регулирования напряжения (БАРН), позволяющей стабилизировать напряжение допустимого уровня 3700 В. Благодаря системе БАРН снижаются потери электрической энергии ЭЭ в тяговой сети, расход ЭЭ на шинах тяговой подстанции [1-3].

Список литературы

1. Аржанников, Б. А. Влияние регулирования напряжения на пропускную способность электрифицированных участков постоянного тока и на расход электрической энергии на тягу поездов / Б. А. Аржанников, И. А. Баева // Транспорт Урала. – 2017. – № 4(55). – С.71-75.

2. Совершенствование основных требований к системе и устройствам тягового электроснабжения постоянного тока / Б. А. Аржанников [и др.] // Электротехника. – 2016. – № 9. – С. 51–57. – ISSN 0013–5860.

3. Аржанников, Б. А. Тяговое электроснабжение постоянного тока скоростного и тяжеловесного движения поездов: Монография / Б. А. Аржанников. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2012. – 207 с. – ISBN 978-5-94614-235-9.

4. Аржанников, Б. А. Разработка системы и устройств тягового электроснабжения с повышенными технико-энергетическими показателями / Б. А. Аржанников, И. А. Баева // Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования: М-лы IX Международ. науч.-практ. конф. / отв. за выпуск Н. Ф. Сирина, д-р техн. наук. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – Вып. 9 (228). – С. 20 – 26.

5. Аржанников, Б. А. Концепция усиления системы тягового электроснабжения постоянного тока 3,0 кВ: Монография / Б. А. Аржанников, И. О. Набойченко. – Екатеринбург: УрГУПС, 2015. – 258 с. – ISBN 978-5-94614-337-0.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Баева Ирина Анатольевна

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС).
Колмогорова ул., д. 66, г. Екатеринбург, 620034, Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроснабжение транспорта» УрГУПС.
Тел.: +7 (982) 753-64-56.
E-mail: IBaeva@usurt.ru

Аржанников Борис Алексеевич

Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС).
Колмогорова ул., д. 66, г. Екатеринбург, 620034, Российская Федерация.
Доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение транспорта» УрГУПС.
Тел.: +7 (982) 753-64-56.
E-mail: IBaeva@usurt.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Baeva Irina Anatolyevna

Ural State University of Railway Transport (USURT).
66, Kolmogorov st., Yekaterinburg, 620034, the Russian Federation.
Postgraduate student of the department «Power supply of transport» USURT.
Phone: +7 (982) 753-64-56.
E-mail: IBaeva@usurt.ru

Arzhannikov Boris Alekseevich

Ural State University of Railway Transport (USURT).
66, Kolmogorov st., Yekaterinburg, 620034, the Russian Federation.
Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Power supply of transport» USURT.
Phone: +7 (982) 753-64-56.
E-mail: IBaeva@usurt.ru

П. Ю. Иванов, А. А. Хамнаева, А. М. Худоногов

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)

г. Иркутск, Российская Федерация

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ТОРМОЗАМИ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА

В статье рассмотрено влияние эффективности работы пневматических тормозов на расход электроэнергии и повышение энергозатрат на тягу вследствие нерационального гашения кинетической энергии грузового поезда в режиме отпуска тормозов. В качестве объекта исследования выбрана пневматическая часть тормозной системы грузового подвижного состава. Представлены результаты эксплуатационных предварительных экспериментов по исследованию зависимости скорости отпуска тормозов от величины завышения давления тормозной магистрали. Представлена физическая модель тормозной системы поезда, оснащенная датчиками давления с компьютерной обработкой сигналов на основе специально разработанного программного обеспечения. Представлены результаты исследований, подтверждающие возможность экономии энергетических ресурсов через повышение эффективности тормозов.

Ключевые слова: расхода энергии на тягу, тормозная эффективность, грузовой подвижной состав, цифровые технологии исследования физических величин, пневматические тормоза.

Pavel Yu. Ivanov, Aleona A. Khamnaeva, AnatoliyM. Khudonogov

Irkutsk State Transport University (ISTU), Irkutsk, the Russian Federation

DECREASE OF ENERGY CONSUMPTION OF ELECTRIC LOCOMOTIVE IN THE DRIVING OF PNEUMATIC BRAKES OF TRAIN

The article discusses the influence of the efficiency of pneumatic brakes on electricity consumption and increased energy consumption for traction as a result of the inefficient quenching of the kinetic energy of a freight train in the mode of releasing brakes. The pneumatic part of the brake system of freight rolling stock was chosen as the object of study. Presents the results of operational preliminary experiments to study the dependence of the speed of release of the brakes on the magnitude of the overpressure of the brake line. A physical model of the train brake system equipped with pressure sensors with computer processing of signals based on specially developed software is presented. The results of studies confirming the possibility of saving energy resources through improving the effectiveness of brakes are presented.

Keywords: energy consumption for traction, braking efficiency, freight rolling stock, digital technologies for the study of physical quantities, air brakes systems.

Эффективность тормозной системы поездов является важнейшим параметром, определяющим как максимальную скорость движения, так и рациональность использования энергии для осуществления перевозки груза. Тормозная система осуществляет гашение кинетической энергии, которая накапливается вследствие разгона поезда. Разгон поезда в свою очередь происходит в основном за счет затрат электроэнергии, учитывая этот факт можно сделать вывод о том, что нерациональное чрезмерное гашение кинетической энергии ведет к среднему росту ее затрат на тягу и торможение.

Наряду с этим само пневматическое торможение осуществляется за счет энергии сжатого воздуха, который нагнетается мотор-компрессором с электроприводом, так же осуществляющим энергопотребление.

Таким образом, влияние эффективности работы пневматических тормозов грузового подвижного состава на расход электрической энергии, потребляемой для осуществления работы по перемещению поезда, можно разложить на две составляющие, как показано на рис 1.



Рис. 1 Структурная схема факторов, влияющих на расход электроэнергии затрачиваемой в результате торможения поездом с учетом рациональности управления машинистом и эффективности работы тормозной системы

Как видно из структурной схемы, представленной на рис.1 помимо нормального расхода электрической энергии, потраченной на нагнетание сжатого воздуха для торможения[1], существуют две переменные составляющие расхода связанные как с нерациональным управлением тормозами, так и с низкой эффективностью отпуска тормозов.

Нерациональное управление тормозами поезда проявляется вследствие ошибок со стороны машиниста в силу его неопытности либо других факторов. Часто причиной нерационального управления может стать неверное формирование поезда, при котором обеспеченность поезда тормозами крайне мала [2]. В результате низкой степени обеспеченности поезда тормозами машинист должен обеспечивать запас времени разгона для восстановления тормозной системы после очередного торможения путем снижения скорости до минимально возможных значений. В таком случае кинетическая энергия поезда каждый раз падает ниже нормы, что имеет два негативных эффекта в виде снижения средней скорости движения по спуску, либо затрат электроэнергии на восстановление кинетической энергии поезда при движении по равнинному профилю пути.

Наряду с вопросом управления существенное влияние на энергоэффективность торможения оказывает вопрос инертности тормозной системы в режиме отпуска [3]. Инертность отпуска тормозов приводит к затягиванию поезда при каждом торможении и как следствие снижению его средней скорости движения. Излишнее снижение скорости движения поезда приводит необходимости восстановления скорости при помощи электрической энергии.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что суммарная величина потребляемой электроэнергии в процессе торможения с учетом рациональности управления вычисляется при помощи выражения (1).

$$\sum E = E_{\text{нор}} + \Delta E_{\text{рац}} + \Delta E_{\text{т.рац}} + \Delta E_{\text{т.эф}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{нор}}$ – нормальный расход электроэнергии на откачку тормозной системы поезда;

$\Delta E_{\text{рац}}$ – затраты электроэнергии на откачку тормозной системы поезда после нерационально большой разрядки;

$\Delta E_{\text{т.рац}}$ – затраты электроэнергии на тягу привосстановление неоправданно-заниженной кинетической энергии поезда вследствие нерационального торможения;

$\Delta E_{т.эф}$ – затраты электроэнергии на тягу при восстановлении сниженной кинетической энергии поезда в процессе торможения вследствие низкой эффективности отпуска тормозов.

Повышение энергоэффективности эксплуатации подвижного состава является актуальнейшим вопросом для компании ОАО «РЖД». В связи с этим решение вопроса повышение эффективности работы тормозной системы приобретает дополнительную актуальность.

В выражении (1) составляющие $\Delta E_{т.рац}$ и $\Delta E_{рац}$, могут быть снижены за счет автоматизации процесса управления тормозами. Автоматизация процесса управления тормозами может принести эффект в виде снижения ошибок машинистов, приводящих к нерациональному управлению тормозами, излишней потере кинетической энергии поезда, а также к перерасходу сжатого воздуха.

Однако наряду с этим существует еще одно направление повышения эффективности торможения, которое связано с повышением скорости отпускной волны. Повышение скорости отпускной волны позволит сохранять часть кинетической энергии поезда и экономить энергию на тягу $\Delta E_{т.эф}$.

В настоящее время в Иркутском государственном университете путей сообщения на кафедре Электроподвижной состав ведутся разработки способов и устройств повышения эффективности отпуска тормозной системы грузового подвижного состава.

В рамках данной работы проводились предварительные эксплуатационные эксперименты на поезде длиной 68 вагонов, целью которых было определение зависимости скорости отпускной волны от величины завышения давления в тормозной магистрали. В результате было выяснено, что скорость отпускной волны при завышении давления в тормозной магистрали в процессе отпуска тормозов на 0,02 МПа выше зарядного приводит к отпуску хвостового вагона в среднем через 40-45 секунд, а при завышении давления в тормозной магистрали на 0,07-0,08 МПа сокращает время отпуска до 20 секунд, т.е. в два раза. Таким образом, можно сделать вывод о существующем резерве по ускорению процесса отпуска.

Учитывая факт наличия инерции при отпуске тормозов при каждом цикле торможения приводящей к затягиванию поезда на 20 секунд можно смоделировать два варианта движения поезда по спуску с циклически повторяющимися торможениями.

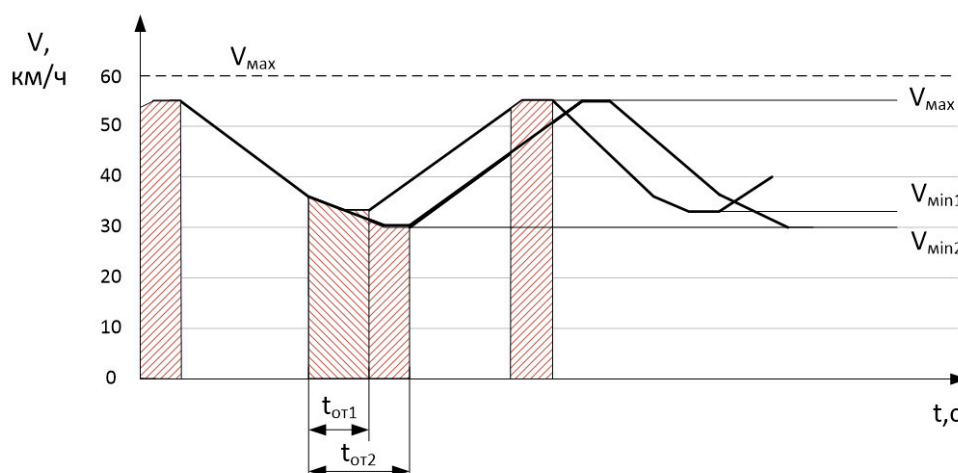


Рис. 2. Моделирование графиков скорости движения поездов с различными скоростями отпуск тормозов:

$V_{\max}$ – максимально допустимая скорость движения; $V_{\min1}$ – максимальная скорость движения допускаемая машинистом в ходе управления тормозами с временем отпуск 20 секунд; $V_{\min2}$ – максимальная скорость движения допускаемая машинистом в ходе управления тормозами с временем отпуск 40 секунд; $t_{от1}, t_{от2}$ – время отпуск тормозов за 20 секунд и 40 секунд соответственно

Из графиков представленных на рис. 2. видно, что средняя скорость движения поезда по спуску увеличилась на 2,5 км/ч, что позволит сохранить часть кинетической энергии поезда и согласно выражению (1), снизить затраты $\Delta E_{т.эф}$ на разгон в последнем цикле торможения при выходе со спуска, а так же сэкономить энергию затрачиваемую на гашение скорости.

Однако, с ускорением процесса отпуск тормозов снижается время между началом процесса разгона и следующим торможением, которое необходимо для откачки запасных резервуаров и всех камер воздухораспределителя №483.

С целью изучения вопроса откачки тормозной системы в процессе отпуск были проведены углубленные лабораторные исследования, в ходе которых была создана физическая модель пневматической части тормозной системы электровагона и двух вагонов позволяющая осуществлять все режимы управления используемые в эксплуатации [4].

На рис. 3. представлен внешний вид стенда моделирующего пневматическую часть грузового вагона.



Рис. 3. Физическая модель пневматической части тормозной системы грузового вагона:
1 – манометры; 2 – воздухораспределитель №483; 3 – авторегулятор режимов торможения; 4 – станина станда; 5 – тормозной цилиндр; 6 – рабочее место для персонального компьютера; 7 – тормозоиспытательные стенды «Тормо»

Представленный стенд был оборудован датчиками давления КРТ-9 установленными в рабочую и золотниковую камеры воздухораспределителя №483, а так же в тормозную магистраль физической модели вагона.

Аналоговые сигналы с датчиков были заведены на аналогово-цифровой преобразователь микропроцессорной платформы Arduino с микроконтроллером Atmega 328, который обменивался данными с персональным компьютером по USB-порту. Для визуализации получаемых компьютером данных был написан интерфейс внешний вид которого представлен на рис.4.

Помимо графической визуализации динамики изменения давления во всех камерах воздухораспределителя №483, измеряемого в килопаскалях, программа ведет сохранение данных в формате читаемом продуктом Microsoft Exele.

В результате моделирования отпуска тормозов с различной глубиной разрядки удалось получить следующие результаты, представленные в виде графиков на рис.5.

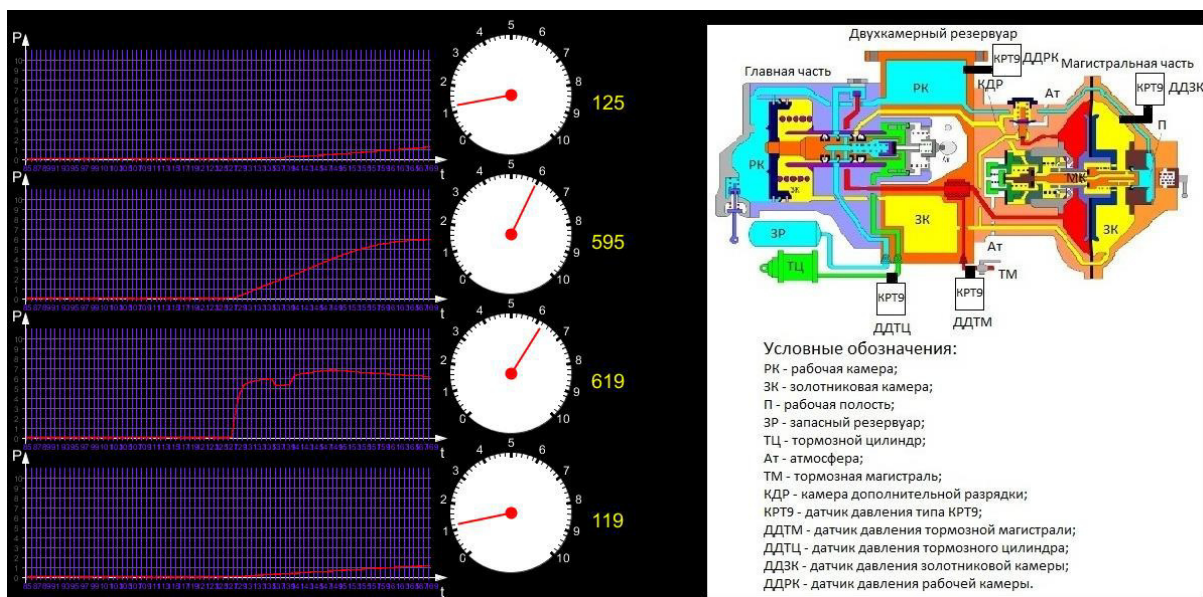
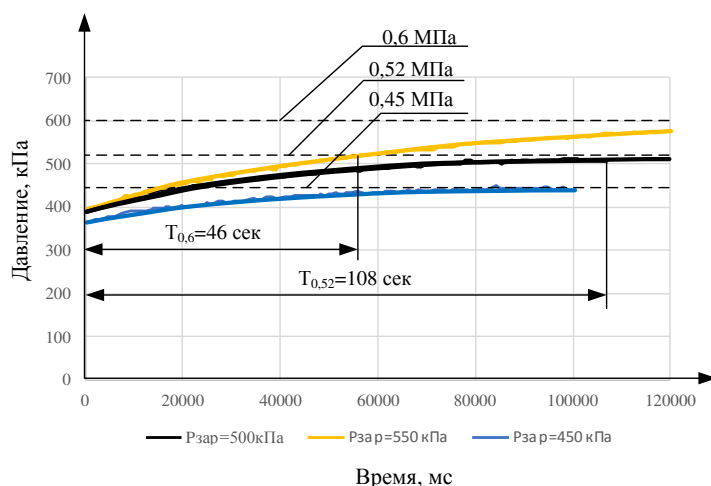
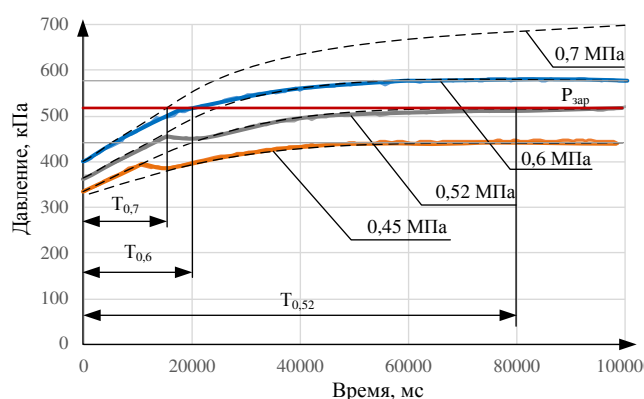


Рис. 4. Интерфейс компьютерной программы исследования газодинамических процессов тормозной системы грузового вагона при помощи физической модели



а)



б)

Рис. 5. Графики изменения давления в процессе зарядки и отпуска:
 а) в запасном резервуаре; б) в рабочей камере воздухораспределителя №483

Из графиков видно, что время зарядки при завышении давления в тормозной магистрали до величины до 0,52 МПа, т.е. до 0,5 МПа составило 80 секунд, а время заполнения запасного резервуара составило 108 секунд. При завышении давления в тормозной магистрали до 0,6 МПа, время зарядки рабочей камеры снизилось в 4 раза и составило 20 секунд, а время восстановления давления в запасном резервуаре снизилось в 2 раза и составило 46 секунд.

По полученным данным можно сделать вывод, что ускорение процесса отпуска завышенным давлением не опасно для безопасности движения поездов, так как наряду с ускорением отпуска происходит ускорение процессов зарядки.

Другим словами можно сказать, что система начинает работать эффективней, а это позволяет снизить нерациональное гашение кинетической энергии поезда и затраты электроэнергии на тягу поездов.

В связи с этим в настоящее время на базе Иркутского государственного университета путей сообщения имеются разработки, позволяющие достигнуть вышеуказанные эффекты. Разработки находятся в процессе конструкторской доработки и патентования.

Список литературы

1. Проектирование привода вспомогательных механизмов ЭПС с асинхронным двигателем: Учеб. пособие / А. М. Худоногов [и др.]. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 311 с.
2. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. – Новоуральск: ООО «Новоуральская типография», 2017. – 222 с.
3. Иванов, П. Ю. Повышение управляемости тормозов поезда [Текст] / П. Ю. Иванов, Е. Ю. Дульский, Н. И. Мануилов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 1 (57). – С. 103-109.
4. Хамнаева, А. А. Автоматизированный стенд исследования газодинамических процессов на примере воздухораспределителя № 483 / А. А. Хамнаева, П. Ю. Иванов // Сборник статей по материалам IX международной научно-конференции (23 июня 2018г., г.Барнаул). В 3 ч. – Уфа: изд. Дендра, 2018. – Ч.1. – С.187 -192.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванов Павел Юрьевич

Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС).
Чернышевского 15, г. Иркутск, 664074,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроподвижной состав» ИрГУПС.
Тел.: +7 (950) 065-21-77
E-mail: savl.ivanov@mail.ru

Хамнаева Алёна Александровна

Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС).
Чернышевского 15, г. Иркутск, 664074,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроподвижной
состав» ИрГУПС.
Тел.: +7 (924) 714-12-15
E-mail: alenalend95@mail.ru

Худоногов Анатолий Михайлович

Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС).
Чернышевского 15, г. Иркутск, 664074,
Российская Федерация.
Доктор технических наук, профессор
кафедры «Электроподвижной состав»
ИрГУПС.
Тел.: +7 (914) 881-46-75
E-mail: a.hudonogov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivanov Pavel Yurievich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
Chernyshevskogo 15, Irkutsk, 664074,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor of the department «Electric Stock»
(ISTU).
Phone.: +7 (950) 065-21-77
E-mail: savl.ivanov@mail.ru

Khamnaeva Alena Aleksandrovna

Irkutsk State Transport University (ISTU).
Chernyshevskogo 15, Irkutsk, 664074,
the Russian Federation.
Ph.D. student the Subdepartment of «Electric
Stock» (ISTU).
Phone.: +7 (924) 714-12-15
E-mail: alenalend95@mail.ru

Khudonogov Anatoly Mikhailovich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
Chernyshevskogo 15, Irkutsk, 664074,
the Russian Federation.
Doctor of Technical Sciences, Professor the
Subdepartment of «Electric Stock» (ISTU).
Phone.: +7 (914) 881-46-75
E-mail: a.hudonogov@yandex.ru

В. В. Шилер, А. В. Шилер

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С БЛОЧНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ

В статье представлены обоснования и оценки эффективности блочной конструкции колесной пар. Приведены сравнения эффективности блочной конструкции со стандартной конструкцией колесной пары, автомобильным транспортом и транспортных систем на магнитном подвешивании (Маглев).

Ключевые слова: эффективность, транспортные средства, блочная и стандартная колесные пары.

Valery V. Shiler, Aleksandr. V. Shiler

Omsk State University of Communications (OSTU), Omsk, Russian Federation

EFFICIENCY OF MOBILE COMPOSITION WITH BLOCK CONSTRUCTION OF WHEELED PAIR

The article presents the rationale and evaluation of the effectiveness of the block design of the wheelset. Comparisons are made of the efficiency of the block design with the standard design of the wheelset, road transport and transport systems on magnetic suspension (Maglev).

Keywords: efficiency, vehicles, block and standard forest pair.

Авторами предложена блочная конструкция колесной пары, подробное описание которой представлено в работах [3 и 6]. Основными особенностями блочной конструкции, отличающие её от всех известных вариантов, это реализация независимого вращения всех поверхностей катания колес колесной пары, контактирующих с головками рельсов, и подрессоривание бандажа.

Как известно, основным недостатком стандартной колесной пары является жесткая посадка колес на ось и конусность поверхностей катания колес [1]. Такая конструкция с рельсовой колеёй образует механическую систему замкнутого типа, в которой действует механизм извилистого движения

(режим автоколебаний) колесной пары в пределах зазора с рельсовой колеёй. Приведём простое описание этого процесса. Так, в процессе извилистого движения колесной пары колеса попеременно имеют переменные значения диаметров кругов катания. При этом колесо с большим диаметром круга катания проскальзывает в режиме «тяги», а колесо с меньшим диаметром – в режиме «торможения». При таком «паразитном» проскальзывании колес существенная часть энергии движения расходуется внутри системы «колесная пара – рельсовая колея», в процессе которого формируется прокат, боковой подрез гребней и образование тепла, которое рассеивается в окружающей среде.

За счет конструктивных особенностей блочной колесной пары [2 и 4] в системе «колесная пара – путь» отсутствует механизм извилистого движения и, соответственно, «паразитное» проскальзывание колес по рельсам. В этом случае в точке контакта «колесо – рельс» (мгновенный центр поворота колеса на рельсе) действуют два вида трения: «покоя» и качения. Траектория движения блочной конструкции колесной пары и тележки зависит только от относительного положения

колесных пар в тележке. При параллельности колесных пар собственная траектория движения тележки будет прямолинейная, в противном случае – криволинейная в виде дуги окружности. При допустимой разности баз по противоположным сторонам двуосной тележки (± 2 мм) радиус кривизны собственной криволинейной траектории блочной конструкции колесной пары составляет $R_H = 2000$ м. При этом значении радиуса кривизны, как показывают результаты расчетов, центробежная сила преодолевает силу трения «покоя» на скорости движения 200 км/ч. Следовательно, сила сцепления в точке контакта

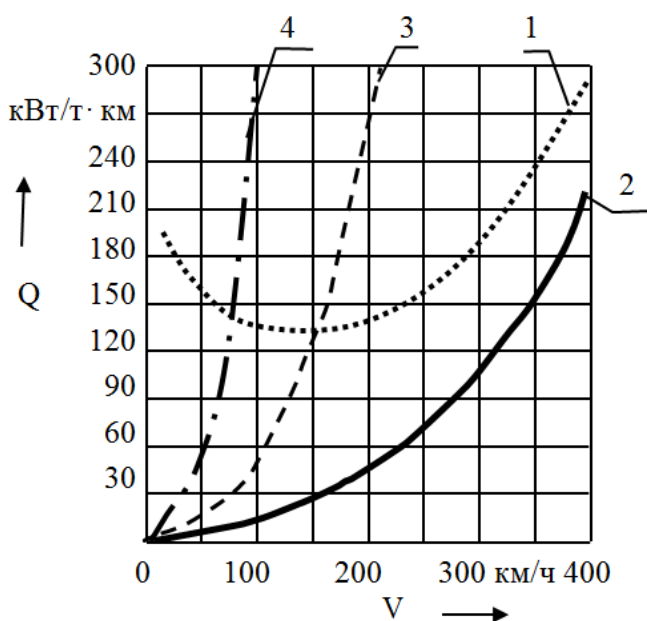


Рис. 1. Зависимости удельных затрат энергии на перевозку одной тонны массы груза от скорости движения.

Линии: 1 – транспортная система «Маглев»;
2 – блочная конструкция колесной пары;
3 – стандартная колесная пара;
4 – автомобильный транспорт.

колесной пары блочной конструкции имеет две стадии формирования сил сцепления. Первая стадия – в интервале скоростей движения до 200 км/ч действуют силы трения качения и "покоя" без проскальзывания (крипа) и при отсутствии «паразитного» сопротивления движению. Значения коэффициента трения-сцепления находятся в интервале $0,3 \div 0,4$ ед. Вторая стадия, – при скорости движения свыше 200 км/ч сила трения – сцепления формируется суммой сил трения «покоя» и «крипа». Трение «крипа» появляется в процессе проскальзывания колес по рельсам, на которое расходуется энергия тяги. Но эти затраты энергии направлены на увеличение силы сцепления колеса и рельса. В результате максимальное значение сцепления для блочной колесной пары составляет $0,6 \div 0,8$ ед. В блочной конструкции колесной пары отсутствует механизм извилистого движения и траектория движения имеет меньшую кривизну, чем у стандартной колесной пары. Поэтому, соответственно, ниже уровень центробежной силы и степень зависимости коэффициента сцепления блочной конструкции колесной пары от скорости движения, чем у стандартной колесной пары.

Сравнительная оценка удельных затрат энергии на транспортировку груза Q (расход одного кВт энергии на перемещение груза весом в одну тонну на один километр, кВт/т·км) выполнена для следующих четырех транспортных систем: железнодорожный транспорт со стандартной и блочной конструкцией колесных пар, система на магнитном подвешивании (типа «Маглев») и автомобильный транспорт. При расчете удельных потерь энергии (Q) приняты ряд общих упрощений одинаковых для всех видов транспортных средств. Не учитывались следующие факторы: неровности на опорных поверхностях, колебания верхнего строения экипажа и пути, контактная жесткость в точке контакта колеса и рельса, скольжение гребней по боковой поверхности головок рельсов, поперечные профили поверхностей катания имеют номинальный неизношенный профиль. Из общего сопротивления движению учитывались следующие усредненные составляющие: трение качения и «паразитное» проскальзывание колес по рельсам в режиме выбега в прямом участке пути, сопротивление от прогиба рельсов, сопротивление в буксовых подшипниках и аэродинамическое сопротивление. Для магнитного подвешивания («Маглев») – затраты энергии на поддержание подвижного состава на весу из расчета 3 кВт на одну т·км и аэродинамическое сопротивление. Для автомобильного

транспорта затраты энергии на преодоление сопротивления движению были получены через коэффициент расхода удельной энергии относительно рельсового транспорта со стандартными колесными парами, который равен 1:10. Расчет аэродинамического сопротивления для всех видов транспорта, которое пропорционально квадрату скорости движения (V^2), производился по единой методике с одинаковыми значениями параметров миделевого сечения. Для железнодорожного транспорта в виду значительной длины поезда дополнительно учитывалось аэродинамическое трение боковых стенок кузовов. Остальные составляющие общего сопротивления не учитывались в виду их малости в сравнении с перечисленными.

Результаты расчетов удельных энергетических затрат (Q) по видам транспорта приведены на рисунке. Для системы «Маглев» (кривая 1) минимальный расход удельной энергии имеет место в диапазоне скоростей 100 – 200 км/ч. На низких скоростях движения увеличенный расход обусловлен затратами энергии на поддержание транспортного средства на весу, а на высоких скоростях движения – увеличением аэродинамического сопротивления.

На высоких скоростях для стандартной колесной пары сопротивление от движения по извилистой траектории сопоставимо с аэродинамическим сопротивлением (кривая 3). Следует отметить, что для подвижного состава со стандартной колесной парой за последние 40 лет общее удельное сопротивление движению увеличилось с 2,2 до 6 - 8 Н/кН. Это обусловлено зауживанием ширины рельсовой колеи с 1524 до 1520 мм, повышением осевой нагрузки (с 22 до 23-25 т) и веса поезда (максимальный вес поезда 9000 т).

Среди транспортных систем существенно меньшие затраты энергии во всем диапазоне скоростей движения имеет железнодорожный подвижной состав с блочной конструкцией колесной пары (кривая 2). На высоких скоростях движения (свыше 100 км/ч) для всех видов транспортных систем, кроме подвижного состава со стандартными колесами, аэродинамическое сопротивление преобладает над остальными составляющими общего сопротивления движению.

Выводы.

1. Во всем диапазоне скоростей движения подвижной состав с блочной конструкцией колесной пары имеет самые низкие удельные расходы энергии на перевозку грузов.

2. Блочная конструкция колесной пары оказывает наименьшее динамическое воздействие на элементы верхнего строения пути и узлы подвижного состава в сравнении с другими конструкциями колесных пар.

Список литературы

1. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: Пер. с англ./ У. Дж. Харрис [и др.]. – М: Интекст, 2002. — 408 с.

2. Пат. 2207250 Россия, МКИ 7 В 60 В 9/12. Колесо рельсового транспортного средства. / А.Н. Головаш, П.Н. Рубежанский. А.В. Шилер, В.В. Шилер. Зарегистрирован: «Открытия. Изобретения». 2003. № 18.

3. Гурьев, А. Дорога на магнитном подвесе: второе дыхание в России? / А. Гурьев // РЖД-Партнер. – 2009. – № 19 (167). – С 54-58

4. Шилер, В. В. Новая конструкция колесной пары для рельсового транспорта / В. В., Шилер, А. В., Шилер // Техника железных дорог. – 2012 – №4 (20) – С. 64 – 73.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шилер Валерий Викторович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Подвижной состав электрических железных
дорог» ОмГУПС.
Тел. 8 913 626 87 53.
E-mail: shiler_val@inbox.ru

Шилер Александр Валерьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Информационной
безопасности» ОмГУПС.
Тел. 8 913 969 90 99.
E-mail: shiler_alex@inbox.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shiler Valery Viktorovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor of the department « Rolling the same
electricision of roads » OSTU.
Тел. 8 913 626 87 53.
E-mail: shiler_val@inbox.ru

Shiler Alexander Valeryevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of department, Head of department
«Information security» OSTU.
Phone: 8 913 969 90 99.
E-mail: shiler_alex@inbox.ru

Н. И. Мануилов

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС),
г. Иркутск, Российская Федерация

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ТОРМОЗНОЙ СЕТИ ПОЕЗДА

Статья посвящена цифровизации обязательной технологической операции по замеру плотности тормозной сети поезда. В статье представлены основные технические характеристики разработанной системы диагностики тормозной сети поезда, представлены усовершенствованные методы и средства диагностики тормозной сети поезда по параметру плотности. Приведены основные технические характеристики разработанной системы. Алгоритм и программно-технический комплекс системы диагностики тормозной сети поезда, позволяет осуществлять ускоренный замер плотности в 30 раз быстрее штатного и производить диагностику в непрерывном режиме. Система позволяет увеличить участковую скорость на 0,87 км/ч за счет снижения времени замера плотности тормозной сети с 7 минут до 15 секунд за поездку и повысить точность измерения плотности тормозной сети поезда в 3 раза.

Ключевые слова: тормоза, система диагностики, цифровое оборудование, плотность.

Nikita I. Manuilov

Irkutsk State Transport University (IRGUPS), Irkutsk, the Russian Federation

IMPROVING THE METHODS AND MEANS OF DIAGNOSING THE BRAKE NETWORK OF A TRAIN

The article is devoted to the digitization of mandatory technological operation to measure the density of the brake network of a train. The article presents the main technical characteristics of the developed system for diagnosing the brake network of a train. presented improved methods and tools for diagnosing the brake network of a train according to the density parameter. The main technical characteristics of the developed system are given. The algorithm and software and hardware complex of the diagnostic system for the brake network of a train allows for accelerated density measurement 30 times faster than the standard one and to perform diagnostics in continuous mode. The system allows you to increase the local speed by 0,87 km / h by reducing the time taken to measure the density of the brake network from 7 minutes to 15 seconds per trip and to increase the accuracy of measuring the density of the brake network of the train 3 times.

Keywords: brakes, diagnostic system, digital equipment, density.

Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава является одним из важнейших узлов железнодорожной техники, от уровня развития,

основных параметров конструкции и состояния которого, в большей степени, зависит безопасность движения поездов, участковая скорость. В связи с этим, необходимо совершенствовать не только тормозное оборудование, но и технологии его обслуживания, диагностики и ремонта [1,2].

Плотность тормозной сети поезда – основной регламентированный параметр диагностики тормозной сети. На сегодняшний день замер производится машинистом по манометру и часам. Погрешность такого замера достигает 40%, средняя потеря времени составляет более 7 минут за поездку [4].

В связи с этим, цифровизация российских железных дорог особо актуальна [9]. Разработана система диагностики, работа которой основана на принципиально новом алгоритме, состоящая из микроконтроллерного блока, блока датчиков давления, блока интерфейса. В тормозной магистрали и тормозных цилиндрах уже имеется штатный датчик, при монтаже системы устанавливается аналогичный датчик на питательную магистраль. Система автоматически измеряет плотность и по её изменению диагностирует обрывы тормозной магистрали, перекрытия конечных кранов, ледяные пробки, утечки из тормозной магистрали, выявляет причину самопроизвольного срабатывания автотормозов. Алгоритм и программа обрабатывает кривую давления, непрерывно определяет плотность тормозной сети, вычисляет утечки от периферийных устройств [3,6]. Функционально-принципиальная схема питания системы диагностики тормозной сети поезда (рис. 1).

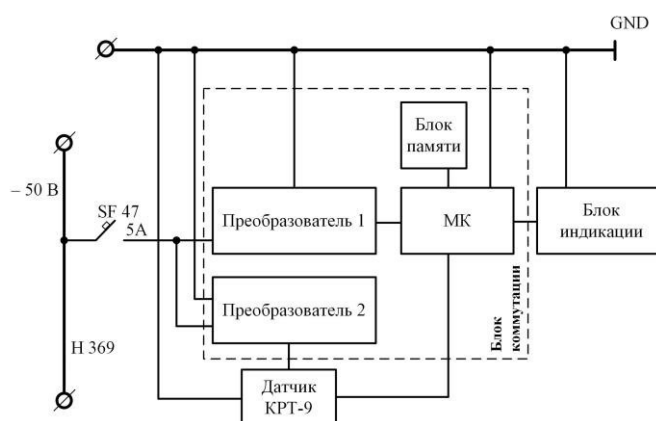


Рис. 1. Функциональная схема электрического питания системы диагностики тормозной сети поезда

Согласно схеме (рис.1.), питание системы диагностики тормозной сети поезда осуществляется от автомата 50 В «Резерв». Система диагностики тормозной сети поезда состоит из блока коммутации, блока индикации и датчика

давления. На входе блока коммутации установлены преобразователи напряжения типа AM15E-4805SIZ со встроенным стабилизатором напряжения, которые в свою очередь питают микроконтроллер (МК) 5В и датчик давления КРТ-9. Для сбора данных предусмотрен блок памяти на 2 Gb. Информирования машиниста о показатели плотности тормозной сети поезда осуществляется через блок индикации. Преобразователи, микроконтроллер и блок индикации заземлены [5].

Использован микроконтроллер Atmega 328P на отладочной плате Arduino nano тип корпуса TQFP-32. Для питания преобразователя датчика давления КРТ-9 использован повышающий преобразователь MT3608.

Блок коммутации состоит из микроконтроллера Arduino nano, модуль памяти преобразователь напряжения с 50В на 5В, часы реального времени, преобразователь, повышающий с 5В на 18В для питания преобразователя давления (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид блока коммутации: 1 – разъем питания устройства; 2 – разъем питания преобразователя давления КРТ-9; 3 – разъем питания и обмена данными блока коммутации и дисплейного модуля; 4 – тумблер включения устройства; 5 – замок

Выключатель 4 замыкает и размыкает цепь питания устройства. После включения подается напряжение на преобразователь 50В-5В для осуществления питания микроконтроллера, часов реального времени, модуля памяти, преобразователя напряжения 5В-18В, а также для питания преобразователя давления КРТ-9. После получения показаний давления, микроконтроллер производит вычисление плотности тормозной сети поезда, данные сохраняются в модуле памяти и выводятся на блок индикации (рис. 3). Установлен замок 5, блокирующий доступ к съему модуля памяти [7].

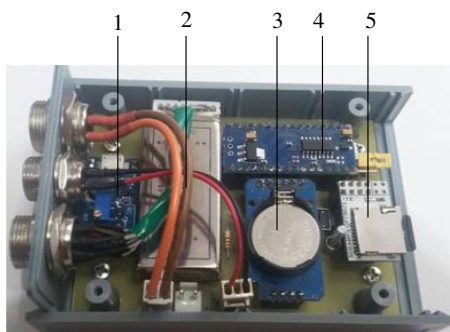


Рис. 3. Блок коммутации в разборе: 1 – преобразователь напряжения MT3608, 2 – преобразователь напряжения AM15E-4805SIZ, 3 – часы реального времени, 4 – плата Arduino nano, 5 – модуль памяти

Комплект системы диагностики изображены (рис.4).



Рис. 4. Прототип системы диагностики тормозной сети поезда: а) блок индикации, б) блок коммутации, в) датчик давления

Во время работы локомотива с поездом система диагностики тормозной сети поезда осуществляет непрерывный замер времени снижения давления на заданный минимальный интервал, шагом в 0,005 МПа, после чего, при помощи математической модели, вычисляется плотность тормозной сети поезда и осуществляется вывод информации на дисплей. Способ диагностики тормозной сети поезда [8] заключается в том, что во время работы локомотива с поездом осуществляется контроль за параметром плотности тормозной сети поезда на предмет ее отклонения от нормы, вычисляемой индивидуально для каждого поезда автоматически. Микроконтроллерный блок осуществляет определение причин отклонения плотности тормозной сети поезда от установленной нормы на основании информации, поступающей с датчиков давления, с учетом характера пневматических процессов. По параметру плотности осуществляется диагностика тормозной сети поезда на предмет утечек, перекрытий концевых кранов, ледяных пробок.

Для работоспособности системы представлен один из упрощенных алгоритмов программы, позволяющий осуществлять ускоренный замер плотности и диагностику тормозной сети поезда в непрерывном режиме, изображен на рис.5.

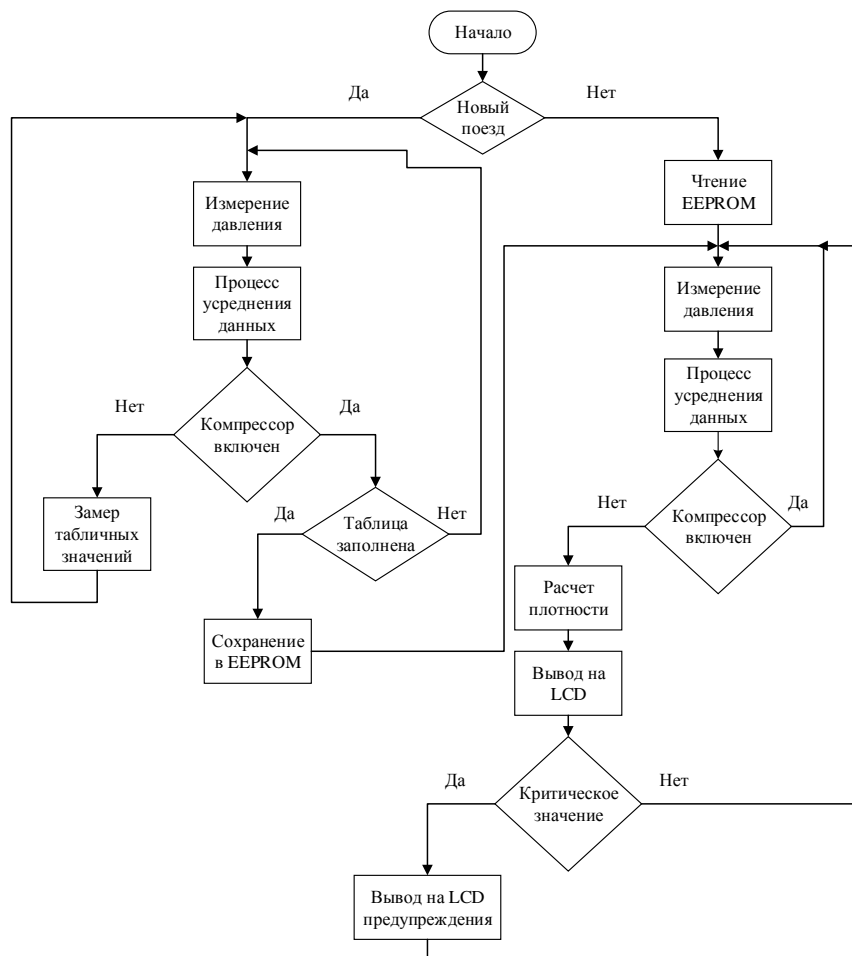


Рис. 5. Упрощенный алгоритм работы системы диагностики тормозной сети поезда

Алгоритм и программно-технический комплекс системы диагностики тормозной сети поезда, позволяет осуществлять ускоренный замер плотности в 30 раз быстрее штатного и производить диагностику в непрерывном режиме. Система позволяет увеличить в среднем участковую скорость на 0,87 км/ч за счет снижения времени замера плотности тормозной сети с 7 минут до 15 секунд за поездку и повысить точность измерения плотности тормозной сети поезда в 3 раза. Усовершенствованные методы и средства диагностики тормозной сети поезда позволяют минимизировать влияние человеческого фактора на технологическую операцию по замеру плотности тормозной сети поезда и снизить погрешность в диагностике по этому параметру на 75%.

Список литературы

1. Иноземцев, В. Г. Автоматические тормоза / В. Г. Иноземцев, В. М. Казаринов, В. Ф. Ясенцев. – М. : Транспорт, 1981. – 464 с.
2. Иванов, П. Ю. Причины самопроизвольного срабатывания автотормозов в грузовых поездах / П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, Е. Ю. Дульский // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2017. – № 2 (30). – С. 17-25.
3. Иванов, П. Ю. Интеллектуальная система диагностики тормозной сети поезда / П. Ю. Иванов, Н. И. Мануилов, А. М. Худоногов, Е. Ю. Дульский // Локомотивы. Транспортно – технологические комплексы. XXI век: материалы V Международной научно-технической конференции, посвященной 180-летию железных дорог России, Санкт-Петербург, 14 – 16 ноября 2017 г. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. – 456 с. – С. 346-350.
4. Мануилов, Н. И. Влияние человеческого фактора на надежность тормозного оборудования поезда / Н. И. Мануилов // Мир транспорта / под ред. Левин Б.А. и др. – Москва: изд-во МКЖТ МПС России. – 2017. – №3 (70) – С. 196-204.
5. Мосолов, Д. Н. Учебное пособие по курсу «Электротехника и электроника» / Д. Н. Мосолов. – М. : ФГБОУ «Московский государственный университет экономики, статистики и информатики», 2008. – 195 с.
6. Орлов, С. А. Программная инженерия: учебник для вузов. 5-е издание обновленное и дополненное. Стандарт третьего поколения / С. А. Орлов – СПб.: Питер, 2016. – 640 с.
7. Интеллектуальная система диагностики тормозной сети поезда / А. М. Худоногов, П. Ю. Иванов и др. // Известия петербургского университета путей сообщения, 2018. – Том 15. – выпуск 1. – С. 130-135.
8. Патент РФ № 2662295 Иванов П. Ю., Мануилов Н.И., Дульский Е. Ю. Способ интеллектуальной диагностики тормозной сети поезда и устройство для его реализации / П.Ю. Иванов, Н.И. Мануилов, Е.Ю. Дульский // Патент РФ МПК 51 В 60 Т 17/22, Бюл. № 8., опубл. 19.03.2018.
9. О проекте «Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.samgups.ru/units/unir/Proekt%20konceptcii%20cifr.%20dorogi.pdf>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Мануилов Никита Игоревич

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).

ул. Чернышевского, д. 15, г. Иркутск, 664074, Российская Федерация.

Аспирант кафедры «Электроподвижной состав» ИрГУПС.

Тел.: +7 (950) 38-93-559.

E-mail: nikita-manuilov@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Manuilov Nikita Igorevich

Irkutsk State University of Railways (IRGUPS).

15, Chernyshevskogo st., Irkutsk, 664074, the Russian Federation.

Postgraduate of the department «Electric rolling stock» IRGUPS.

Phone: +7 (950) 38-93-559.

E-mail: nikita-manuilov@mail.ru

УДК 629.423

К. И. Доманов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВУХСИСТЕМНЫХ ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ НА УЧАСТКАХ, ИМЕЮЩИХ СТАНЦИИ СТЫКОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕСИБИРСКОГО ХОДА)

В статье рассматривается вопрос ввода понятия показателя оценки энергоэффективности при внедрении в эксплуатацию электровозов двойного питания нового поколения. Перспективой разработки темы исследования является уменьшение удельного расхода электроэнергии на тягу поездов при проследовании стыковых станций без остановки, с применением рекуперативного торможения в межстанционной зоне. Представлен вариант вывода информации на монитор машиниста в кабине электровоза об эффективности выбранного режима ведения поезда проезжающего железнодорожную станцию.

Ключевые слова: электровоз, 2ЭВ120, двойного питания, двухсистемный, коэффициент энергоэффективности, станция стыкования.

Kirill I. Domanov

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE OF FACTOR ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY OF OPERATION OF TWO-SYSTEMIC CARGO ELECTRIC TRACKS IN THE PLOTS HAVING DUSING STATIONS (ON THE EXAMPLE OF MID-SIBERIAN MOVE)

The article discusses the issue of introducing the concept of an indicator for assessing energy efficiency when introducing a new generation of dual power electric locomotives into operation. The prospect of the development of the research topic is to reduce the specific energy consumption for train traction when passing through butt stations without stopping, using regenerative braking in the inter-station zone. A variant is presented of displaying information on a driver's monitor in the cab of an electric locomotive about the effectiveness of a selected train operation mode passing a railway station.

Keywords: electric locomotive, 2EV120, dual power, dual-system, energy efficiency ratio, docking station.

Повышение эффективности перевозочного процесса неразрывно связано с усовершенствованием тягового подвижного состава. При внедрении в эксплуатацию двухсистемного электровоза 2ЭВ120, сконструированного ООО «Первая локомотивная компания» совместно с компанией Bombardier Inc. (отделение Bombardier Transportation в России), появится возможность сократить эксплуатируемый парк локомотивов, количество тяговых плеч за счет их удлинения и количество пунктов смены локомотивных бригад, уменьшить время следования грузовых поездов в масштабах организации управления движением подвижного состава по принципам полигонных технологий [1]. Электровоз двойного питания имеет перспективные возможности по замене устаревших локомотивов переменного и постоянного рода тока. Важным вопросом этих эксплуатационных преобразований является экономическая составляющая, а именно цена электровоза с учетом стоимости его жизненного цикла. Здесь необходимо максимально учитывать все экономические аспекты от внедрения электровозов двойного питания в эксплуатацию. Одним, из которых является техническая способность двухсистемного электровоза безостановочно проследовать станции стыкования [2, 3].

При следовании по Среднесибирскому ходу поезд преодолевает две станции стыкования: Артышта 2 и Иртышское. На них необходима остановка для смены электровозов одного рода тока на другой. При ведении поезда электровозом двойного питания такая необходимость устраняется. Соответственно уменьшается потребление электроэнергии на тягу поездов за счет отсутствия энергозатрат при разгоне поезда со стоянки. Во время следования поезда по станции машинист может вести поезд в разных режимах: тяги, выбега, электрического торможения. При пропуске состава по главным путям станции скорость следования выше, нежели при приеме поезда на боковые пути или на стоянку. Подъезжая к станции с соответствующим разгоном и запасенной кинетической энергией поезда целесообразно применить рекуперативное торможения, в процессе которого идет возврат электроэнергии в сеть и принимается приемниками тяговой подстанции. Однако возникает вопрос энергоэффективности таких действий машиниста. На поезд действуют различные факторы: составность поезда, погодные условия, план и профиль пути и др., которые необходимо учитывать при выборе режима следования, что в свою очередь человеку безошибочно сделать невозможно.

Разрабатываемая методика факторного анализа энергоэффективности учитывает в себе различные факторы, которые действуют постоянно или возникнут при следовании двухсистемных электровозов с составом на смежных участках обслуживания имеющие стыковые станции. Вводимое понятие «коэффициент энергоэффективности электроподвижного состава» будет учитывать в себе разного рода составляющие при его определении, он позволит выбрать машинисту наиболее эффективный режим ведения поезда при безостановочном проследовании станции стыкования, с учетом времени переключения рода тока и поддержанием установленной скорости движения поезда. Для оптимизации высвободившихся ресурсов, таких как: человеко-часы (за счет безостановочного проследования время на технологическую обработку состава затрачивать не нужно); пневматического и другого инженерного, механического оборудования для технологической обработки состава; энергетические изменения на тяговой подстанции разрабатывается карта потока создания ценности железнодорожной станции.

В настоящее время большинство грузовых локомотивов эксплуатируемых на сети ОАО «РЖД», которые задействованы при ведении сдвоенных поездов оснащены интеллектуальной системы автоматизированного вождения соединенных поездов распределенной по длине тягой (ИСАВП-РТ) отечественного производства компанией ООО «АВП Технология». Данная система предназначена для автоматического ограничения продольных динамических сил сверх допустимых в составе соединенного поезда, что исключает возможность выдавливания вагонов и обрывов автосцепок при всех режимах управления, используя при этом режимные карты и предлагая машинисту поезда энергооптимальные варианты управления. Однако, данная система имеет низкую энергоэффективность, так как разработана в первую очередь для минимизации механических воздействий на поезд [4].

Для решения прежде всего проблем энергоэффективности компанией SmartWIZ (входит в состав научного кластера Сколково, Россия) была разработана система автоведения SATO, использующая уникальную технологию EAD-tech, которая при расчете энергооптимального управления использует актуальные характеристики подвижного состава, определяемые в процессе движения без какого-либо дополнительного оборудования. Алгоритмы расчета энергооптимального управления построены таким образом,

чтобы динамические реакции, возникающие в составе поезда, оставались бы на минимально возможном и безопасном уровне. Систему SATO возможно применять на отечественных грузовых электровозах без установки дополнительного оборудования, что является её преимуществом [5].

Представленные системы разработаны для односистемных электровозов. Различие расчетных характеристик от фактических тяговых характеристик, при определении энергоэффективности, используемые автоматизированными системами управления ИСАВП-РТ и SATO, достигают 23%. А при ведении поезда опытным машинистом эта разница может составлять до 36%. По окончанию разработки методики будет предложен программный продукт, который возможно устанавливать в виде программного обеспечения (дополнение) в бортовой компьютер управления электровозом. Вся необходимая информация, для определения коэффициента энергоэффективности электроподвижного состава и отображения его величины на экране машиниста (рис. 1), будет доступна с внутренних систем управления и счетчиков электровоза.

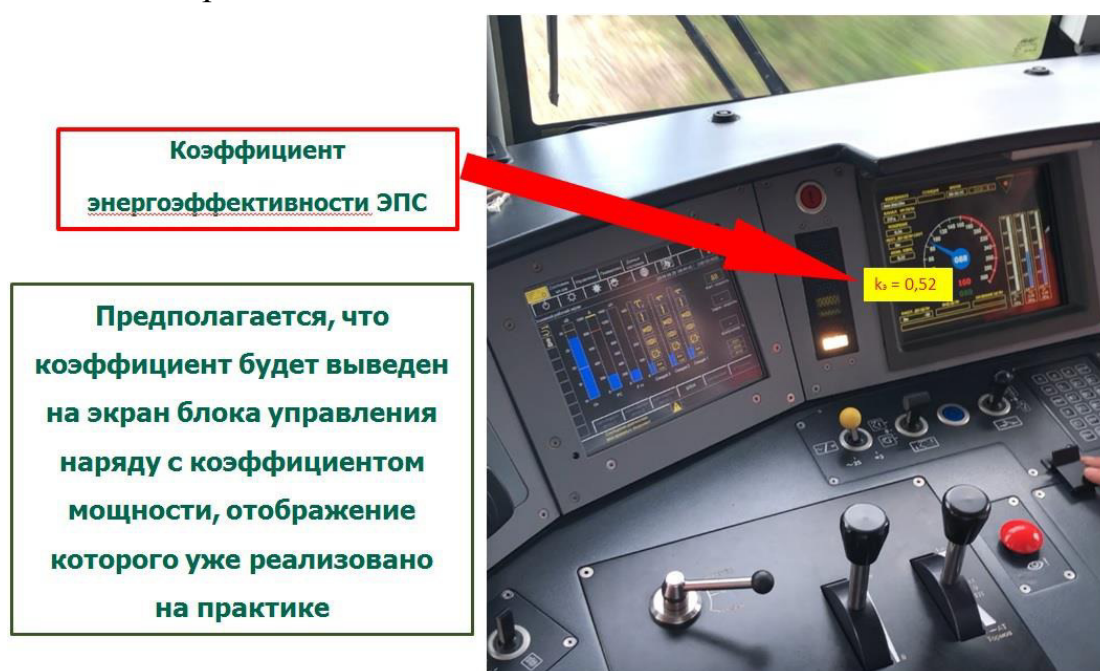


Рис. 1. Отображение коэффициента энергоэффективности электроподвижного состава на мониторе машиниста в кабине электровоза 2ЭВ120

Внедрить в эксплуатацию разом большое количество двухсистемных электровозов не представляется возможным. При постепенном внедрении будет сокращаться количество составов требуемых технологической обработки на

станции, что в свою очередь высвободит используемые ранее для этих целей ресурсы как человеческие, так и механические и энергетические. Сокращение составов будет происходить до полного оборота двухсистемного электровоза. И сокращение численности работников вагонного состава может повлечь за собой не надлежащий контроль в сфере безопасности движения поездов. Чего допускать нельзя. Высвободившиеся ресурсы требуют перераспределения. Для решения этого вопроса предлагается разработка карты потока создания ценности работы железнодорожной станции (рис. 2). Она позволит оптимизировать работу служб станции.



Рис. 2. Карта потока создания ценности работы железнодорожной станции после внедрения в эксплуатацию двухсистемного электровоза 2ЭВ120

Разрабатываемая методика по предварительным оценкам позволит достичь до 25% экономии электроэнергии потребляемой на тягу поездов в сравнении с представленными аналогами при следовании поезда в межстанционной зоне. Программный продукт, который планируется разработать, не будет проводить факторный анализ энергоэффективности с определением величины коэффициента энергоэффективности электроподвижного состава на блок-участках тягового плеча. Технологическая карта потока создания ценности работы железнодорожной станции подлежит полной реализации только при условии сохранения штатного

расписания числа работников станции после внедрении в эксплуатацию двухсистемных электровозов. Актуальность методики зависит от технических изменений подвижного состава и железнодорожной станции. Обслуживание программного продукта может проводить электромеханик по приборам безопасности. Обновляться программное обеспечение планируется по мере необходимости, но не реже одного раза в полугодие. Технологическая карта потока создания ценности работы железнодорожной станции потребует нововведений при изменении технологических процессов энергетических и технических служб станции, а так же при изменении штатного расписания численности работников.

Список литературы

1. Знакомьтесь: Электровоз 2ЭВ120 // Локомотив. – 2015. – № 11. – С. 42-45.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации 17 июня 2008 г. № 877-р «Стратегии развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 года».
3. Федеральный закон № 172 от 28.06.2014 г. «О стратегическом планировании в Российской Федерации».
4. Продукция [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании «Автоматизированные системы управления для железнодорожного транспорта», 2018. – Режим доступа: <http://www.avpt.ru/products/dlya-gruzovykh-lokomotivov/> (Дата обращения: 11.10.2018).
5. Жебрак, Л. С. Адаптивная система автоведения поездов [Текст] / Л. С. Жебрак // Научно-технический журнал Control Engineering Россия. – Москва. – 2015. – № 4(58). – С. 28 – 30.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Доманов Кирилл Иванович
Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Инженер, аспирант кафедры «Подвижной
состав электрических железных дорог»
ОмГУПС.
Тел.: +7 (923) 671-56-33.
E-mail: domanov35@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Domanov Kirill Ivanovich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Engineer, graduate student of the Department
«Railway Rolling Stock» OSTU.
Phone: +7 (923) 671-56-33.
E-mail: domanov35@gmail.com

К. В. Панов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ANYLOGIC ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ ПРИ РЕМОНТЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

В данной статье описана разработанная имитационная модель депоовского ремонта электровозов серий 2ЭС6, ВЛ11, ВЛ10у и ВЛ10к, на примере сервисного локомотивного депо «Московка», реализованная на ЭВМ при помощи программного обеспечения для имитационного моделирования - AnyLogic. В работе описана логическая схема модели в программной среде, выбранные средства и методы. По результатам эксперимента проведена общая оценка производственных показателей функционирования предприятия по ремонту электровозов.

При помощи реализованных в данной работе методов исследования технологических процессов депо «Московка», можно реализовывать различные предприятия по ремонту локомотивов железных дорог, с целью выявления производственных потерь.

Ключевые слова: anylogic, электровоз, депо, имитационное моделирование, ремонт подвижного состава, производственные потери.

Kirill V. Panov

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russian Federation

USE OF ANYLOGIC FOR CALCULATION OF PROCESS LOSSES WHEN REPAIRING A ROLLING STOCK

This article describes the developed simulation model of depot repair of electric locomotives series 2ES6, VL11, VL10u and VL10k, on the example of service locomotive depot "Moskovka", implemented on a computer using simulation software - AnyLogic. The paper describes the logic diagram of the model in the software environment, the selected tools and methods. According to the results of the experiment, an overall assessment of the production performance of the enterprise for the re-installation of electric locomotives was carried out.

By means of the methods of research of technological processes of depot "Moskovka" realized in this work, it is possible to realize various enterprises on repair of locomotives of the railroads, for the purpose of identification of production losses.

Keywords: anylogic, electric locomotive, depot, simulation, repair of rolling stock, production losses.

Моделирование один из основных методов теоритического и экспериментального исследования, а также решения практических задач [1]. На любом производственном предприятии существует масса факторов влияющих на потери, как рабочего времени, так и внутри производственного цикла. [2]. Так, как ремонт электровозов носит вероятностную модель

поведения, то возникает существенное количество производственных потерь, которые очень трудно выявить и достаточно сложно рассчитать. Использование простых аналитических формул недостаточно и расчет подобной системы нуждается в использовании современных методов моделирования, которые позволяют исследовать разные варианты совершенствования эффективности функционирования предприятия по ремонту электровозов [3].

Сервисное локомотивное депо «Московка», является одним из крупнейших предприятий по ремонту локомотивов, задачей для которой является обеспечение безотказной и надежной работы электровозов серии 2ЭС6, ВЛ11 и ВЛ10 разных индексов, сети ОАО «РЖД» [4, 5]. Исследование влияния производительности труда на интенсивность использования производственного потенциала предприятия, является одним из наиболее сложных и ответственных задач.

Для создания модели было выбрано программное обеспечение для имитационного моделирования AnyLogic, которое является уникальным программным продуктом, поддерживающим все три методологии имитационного моделирования: системную динамику, дискретно-событийное и агентное моделирование, а также позволяющим создавать многоподходные модели [6].

Для визуализации объекта моделирования, была составлена схема производства, повторяющий существующий план ремонтного депо (рис.1).

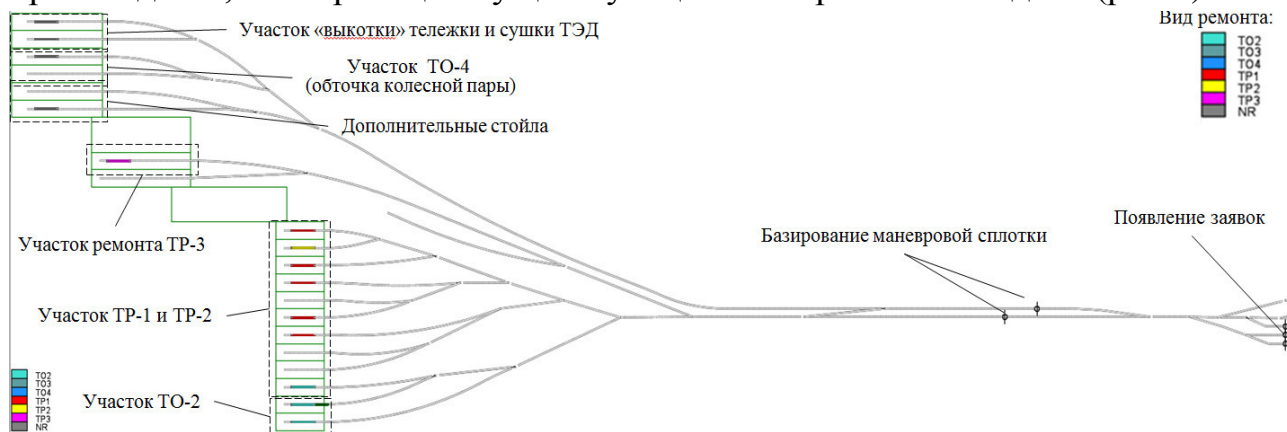


Рис. 1. Графическая схема имитационной модели

В качестве метода проектирования модели было выбрано создание агентов (агентное моделирование) в дискретно-событийной имитационной системе. Логика работы предприятия создавалась при помощи отдельных блоков в специальных, встроенных библиотеках программы: «Железнодорожная библиотека» и «Библиотека моделирования процессов» [6]. В процессе проектирования модели было учтены различные ситуации,

возникающие во время ремонта (неплановые перемещения электровоза по тракционным путям депо, увеличение или сокращение объема работ, возникновение неплановых технологических операций и т.д.).

Созданную логику имитационной модели можно разбить на несколько структур:

- 1) формирование заявки и очередь на ремонт электровоза;
- 2) формирование заявки маневрового локомотива;
- 3) процесс соединения маневрового локомотива с электровозом (для установки и покидания заявки на необходимый участок в зависимости от вида ремонта);
- 4) задержка заявки на участке ремонта (в соответствии с видом ремонта); выход заявки из системы;
- 5) регистрация параметров производственного процесса.

Общий вид имитационной модели в среде AnyLogic представлен на рис. 2 и рис. 3, связанных между собой переходами A, B, C и D.

В теории массового обслуживания в условиях частичной неопределенности, но при условии, что данные события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью и независимо друг от друга, применяют закону Пуассона [10]. В нашем случае вероятность поступления в ремонт N объектов на k -ый вид ремонта за время Δt будет распределено по закону:

$$p_N = \frac{(\overline{pot}_k \cdot \Delta t)^N}{N!} \cdot e^{-\overline{pot}_k \cdot \Delta t} \quad (1)$$

Формирование заявки происходит при помощи группы блоков 1 (рис. 2). Группа блоков 2 добавляет ремонтируемую единицу на территорию депо, если все стойловые участки заняты в том цеху куда поступает электровоз в соответствии со своим видом ремонта, то формируется очередь 3. Занятость этих стойловых участков контролируют блоки 4, которым задается значение в соответствии с количеством стойловых участков в цеху на производстве.

Блоки группы 5 перемещают ремонтируемый электровоз к необходимому, в соответствии с видом ремонта, производственному цеху.

Заявку на маневровый локомотив создают блоки 6 и при помощи блоков 7 производят его ввод в систему модели. Путь и перемещение к ожидающему захода в цех электровоза локомотив находит при помощи блоков 8.

Блоки 9 (рис. 4) производят сцепку маневрового локомотива и объекта ремонта, перемещение в цех и отцепку. Далее локомотив перемещается в точку своего создания и покидает модель 10.

Ремонтируемый подвижной состав поступает к блокам 11, где формируется задержка в системе. Для каждого вида планового ремонта

существует свой временной блок (выполнение технологической операции) в соответствии с Руководством [7].

На неплановом виде ремонта заявки задерживаются в соответствии с особым случаем гамма-распределения – распределение Эрланга [8].

$$P_t = \frac{(t - t_{\min})^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} \exp\left(\frac{-(t - t_{\min})}{\beta}\right), \quad (2)$$

где m – фактор формы вероятностного распределения, $m = 2$;

β – коэффициент масштаба, $\beta = 1,4$.

С определенной вероятностью P_{ij} электровозу может потребоваться изменить технологическую позицию из-за изменения вида ремонта, ухода на неплановый ремонт, потребности в обточке колесной пары и т.д. Данная вероятность перехода выражена в блоках 12, после чего ремонтируемая единица занимает очередь на следующую позицию и вызывает МЛ для перемещения. При помощи блоков 13 локомотив, после того, как освободился от другой загрузки, перемещает электровоз на необходимый участок ремонта и уходит на место появления в системе, откуда покидает модель и ждет следующего вызова.

Если переход на другую позицию ремонтируемому электровозу не требуется, заявка полностью прошла обслуживание и готова к эксплуатации, то блоки 15 при помощи МЛ перемещают объект ремонта из цеха и так же удаляются из модели. Сам электровоз проходит ТО-1 проводимый локомотивной бригадой и после освобождения тракционных путей депо, покидает модель при помощи блоков 16.

В качестве примера рассчитаем некоторые параметры технологического процесса локомотиворемонтного предприятия. Степень использования технологических участков предприятия по времени, обуславливаться коэффициентом загрузки k_3^{my} , для данной операции будет определяться по формуле:

$$k_3^{my} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{T_o \cdot n} \quad (3)$$

где n – количество технологических позиций на участке (количество стойловых участков цеха);

T_i – время нахождения электровоза на технологической позиции;

T_o – общая длительность исследуемого временного отрезка.

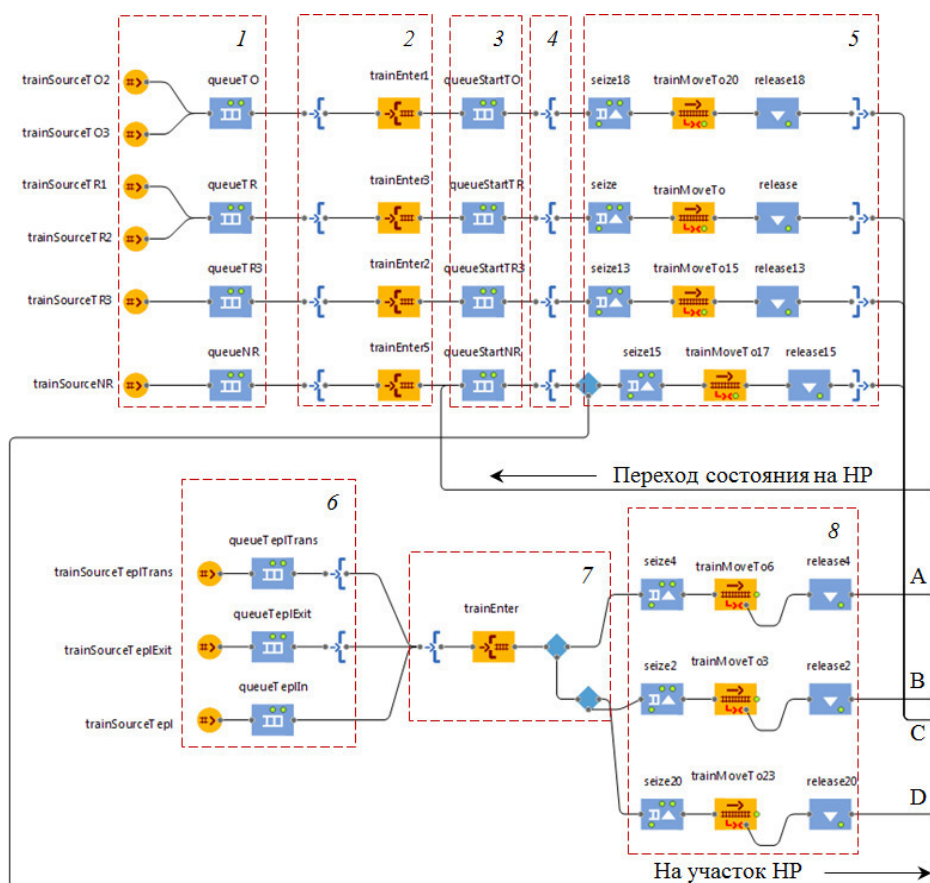


Рис. 2. Логическая схема имитационной модели (часть 1)

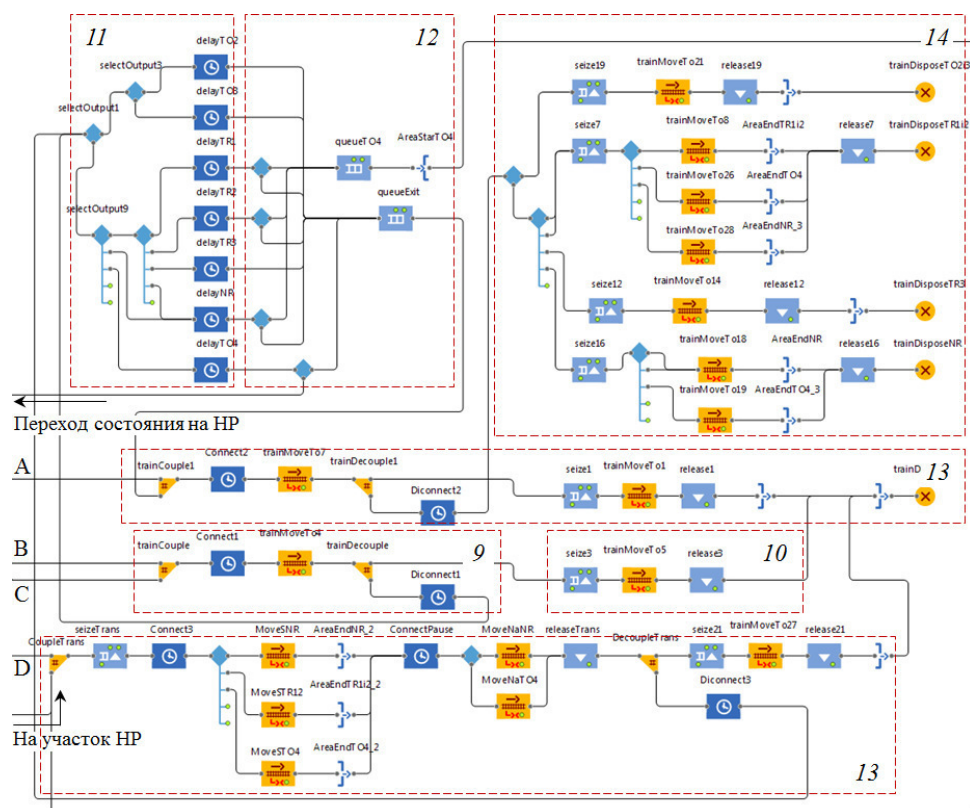
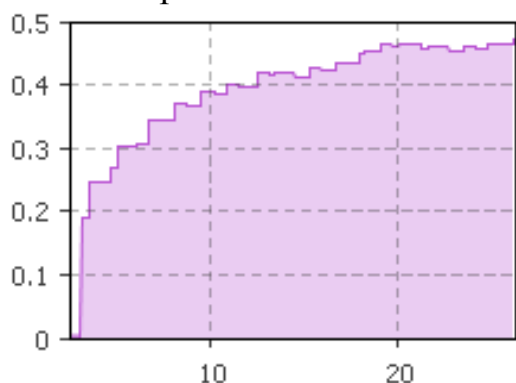
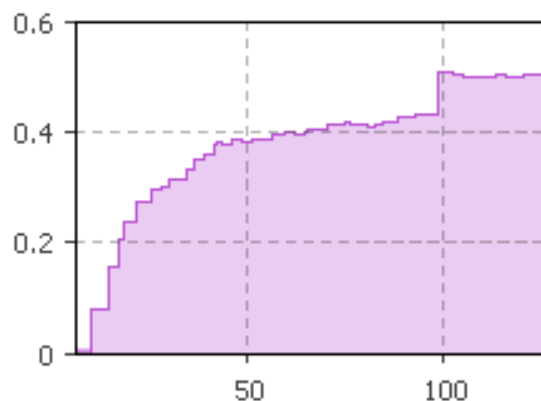


Рис. 3. Логическая схема имитационной модели (часть 2)

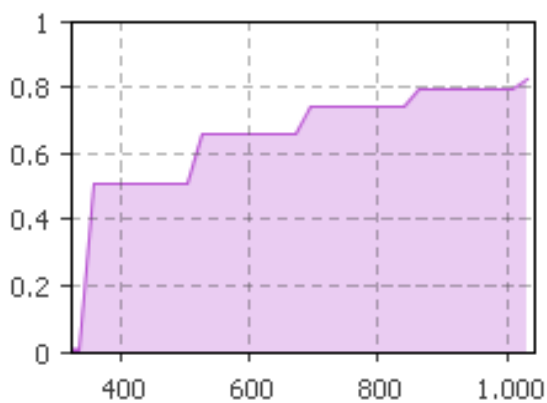
Как изменялось среднее значение коэффициента загрузки технологического k_3^{my} в течении времени, для каждого участка ремонта, показано на рис. 4.



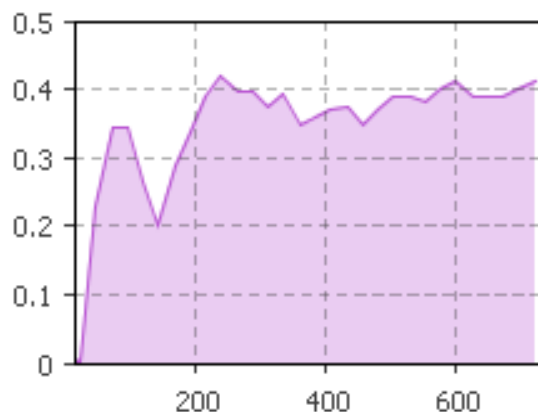
а) изменения среднего значения k_3^{my} в течении суток для участка обслуживания ТО-2



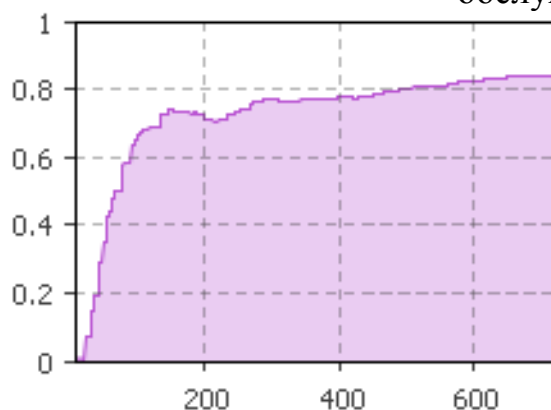
б) изменения среднего значения k_3^{my} в течении недели для участка ремонта ТР-1 и ТР-2



д) изменения среднего значения k_3^{my} в течении квартала для участка ремонта ТР-3



г) изменения среднего значения k_3^{my} в течении месяца для участка обслуживания ТО-4



е) изменения среднего значения k_3^{my} в течении месяца для участка НР

Рис. 4. Изменение среднего значения коэффициента загрузки технологического участка в течении времени для каждого вида ремонта и обслуживания

Таким образом, в работе представлена имитационная модель сервисного локомотивного депо «Московка», разработанная в компьютерной среде AnyLogic. Произведена общая оценка технологических показателей работы предприятия. В дальнейшем необходимо исследовать поведение технологической структуры депо (изменять технологический процесс ремонта) для определения более эффективных условий функционирования производства.

Список литературы

1. Шатохин, А. П. Оценка эффективности использования энергии рекуперации путем имитационного моделирования системы тягового электроснабжения в среде MATLAB / А. П. Шатохин // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск. – 2015. – С. 406 – 412.
2. Черемисин, В. Т. Модернизация пескосушильного комплекса и устройств участка экипировки песком / В. Т. Черемисин, И. Н. Денисов, С. А. Мосол // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск. – 2017. – С. 61-67.
3. Мямлин, В. В. Гибкие потоки для ремонта вагонов и особенности имитационного моделирования их работы / В. В. Мямлин // Транспорт Российской Федерации. – С. 57 – 60.
4. Доманов, К. И. Проблемы сервисного обслуживания электровозов серии 2ЭС6 и мероприятия направленные на повышение технологии их ремонта [Текст] / К. И. Доманов // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Омск, 2017. – С. 97 – 103.
5. Истомин, С. Г. Определение непроизводительных потерь электроэнергии электроподвижным составом с использованием бортовых информационно-измерительных комплексов учета электроэнергии / С. Г. Истомин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 2 (58). – С. 19 – 24.

6. Боев, В. Д. Концептуальное проектирование систем в Anylogic 7 и GPSS World / В. Д. Боев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.coM/book/100624>.

7. О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД» [Текст]: Распоряжение ОАО «РЖД» от 17.01.2005. – № 3р. – 2005. – 15 с.

8. Козлов, В. Г. Теория массового обслуживания: Учебное пособие / В. Г. Козлов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.coM/book/10921>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Панов Кирилл Вячеславович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Преподаватель кафедры «Подвижной
состав электрических железных дорог»
ОмГУПС.

Тел.: 8-983-563-45-10

E-mail: k.v.panov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Panov Kirill Vyacheslavovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Lecturer of the department «Rolling Stock
Electric Railways» OSTU.

Phone: 8-983-563-45-10

E-mail: k.v.panov@yandex.ru

УДК 621.317.785

Ю. В. Плотников

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ПРИБОР УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ МОНИТОРИНГА УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ПОВЫШЕННЫМ УДЕЛЬНЫМ РАСХОДОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

В статье рассматривается вариант экспериментального прибора для мониторинга и учета электроэнергии, предназначенного для использования на электроподвижном составе постоянного и переменного тока. Возможность привязки моментов измерений к сигналам точного времени, получаемым от спутниковых навигационных систем, позволяет

синхронизировать измерения с измерениями на тяговых подстанциях, позволяя выявлять участки дороги с повышенным удельным расходом и потерями электроэнергии на тягу поездов.

Ключевые слова: прибор учета, мониторинг и учет электроэнергии, тяговая сеть, синхронные измерения, потери электроэнергии, удельный расход.

Yury V. Plotnikov

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

THE METERING DEVICE OF ELECTRIC ROLLING STOCK WITH POSSIBILITY OF MONITORING OF RAILWAY SECTIONS WITH HIGH SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION FOR TRACTION OF TRAINS

In the article the variant of the experimental device for monitoring and accounting of the electric power intended for use on electric rolling stock of direct and alternating current is considered. The ability to link the measurement moments to the exact time signals received from satellite navigation systems, allows you to synchronize measurements with measurements at traction substations, allowing you to identify sections of the road with increased specific consumption and power losses on the traction of trains.

Keywords: metering device, monitoring and accounting of electricity, traction network, synchronous measurement, power loss, specific consumption.

Повышение энергетической эффективности электрической тяги поездов в настоящее время обуславливается существующим уровнем развития техники и технологий, ограниченным объемом финансирования энергосберегающих мероприятий и необходимостью уменьшения сроков их окупаемости. Поэтому, для получения максимального технико-экономического эффекта внедрение современных энергосберегающих технологий в первую очередь необходимо проводить в наиболее «узких» местах – участках железных дорог, на которых наблюдается повышенный уровень удельного расхода и потерь электроэнергии на тягу поездов, а также присутствует в недостаточном объеме, либо полностью отсутствует рекуперативное торможение. Для каждого такого «узкого» места посредством математического моделирования вычисляется допустимый уровень удельного расхода и потерь электроэнергии, определяется перечень влияющих факторов, выявляются причины отклонения имеющихся значений, а

также дается оценка потенциала энергосбережения и срок окупаемости затрат на внедрение мероприятий по повышению эффективности использования и снижению потерь электроэнергии на тягу поездов [1, 2].

Одним из возможных способов поиска «узких» мест является анализ энергетических показателей тяговой сети в границах отдельных межподстанционных зон (МПЗ). Для этого в течение заданного времени, с определенной периодичностью, необходимо зафиксировать значения всех токов и напряжений фидеров контактной сети смежных тяговых подстанций и всех единиц электроподвижного состава (ЭПС), находящихся в границах исследуемой МПЗ в заданное время. Этот способ был апробирован при помощи разработанной в Омском государственном университете путей сообщения автоматизированной системы мониторинга энергоэффективности перевозочного процесса (АСМЭПП) в границах экспериментального полигона Свердловской железной дороги [3 – 6], и показал свою высокую эффективность.

На основании результатов апробации в Омском государственном университете путей сообщения были разработаны «Технология учета расхода электроэнергии электроподвижным составом с использованием информационно-измерительных комплексов» и «Технические требования к автоматизированным информационно-измерительным комплексам учета электроэнергии на тяговом электроподвижном составе», утвержденные для применения на сети железных дорог ОАО «Российские железные дороги» распоряжением ОАО «РЖД» №3226р от 31 декабря 2014 г. Согласно этим документам, новые измерительные системы для электроподвижного состава должны в обязательном порядке удовлетворять ряду технических требований, основными из которых являются:

класс точности прибора учета электроэнергии при измерениях – не хуже: по активной энергии: 0,5S по ГОСТ 30206-94 (для переменного тока) и ГОСТ 10287-83 (для постоянного тока); по реактивной энергии: 1,0 по ГОСТ 26035-83, а классы точности первичных измерительных преобразователей тока и напряжения – не хуже 0,5;

потери напряжения во вторичной измерительной цепи не более 0,25% номинального вторичного напряжения первичных измерительных преобразователей;

интервал усреднения результатов измерения электрических величин должен составлять 1 с., 3 с., 1 мин., 30 мин.;

наличие энергонезависимой памяти, обеспечивающей хранение профиля нагрузки и прочих запрограммированных параметров при отсутствии питания в течение не менее 30 суток;

наличие системы определения данных о местоположении (долгота, широта, высота), скорости движения и путевого угла подвижного состава, времени и дате в формате UTC с использованием навигационных сигналов спутников GPS ГЛОНАСС;

наличие энергонезависимых часов, обеспечивающих ведение даты и времени с точностью хода не хуже $\pm 5,0$ с в сутки с возможностью их автоматической коррекции со стороны системы определения данных о местоположении;

обеспечение защиты от несанкционированного изменения параметров.

Отдельным требованием является необходимость обеспечения синхронности измерения и усреднения данных прибора учета ЭПС с приборами учета тяговых подстанций, для чего необходимо обеспечить синхронизацию моментов начала и окончания периода усреднения данных с сигналами точного времени приемника спутниковой системы навигации.

Известные решения приборов мониторинга и учета для ЭПС, в частности [7], не в полной мере удовлетворяют представленным условиям, поэтому в настоящее время в Омском государственном университете путей сообщения разрабатываются экспериментальные образцы универсальных приборов учета для ЭПС, созданных в соответствии с изложенными требованиями. Структурная схема одного из таких приборов в составе ЭПС представлена на рис. 1.

Устройство состоит из трех отдельных блоков: блока измерения БИ, блока управления индикации и связи БУИС и изолированного источника электропитания ГРИП. Напряжение контактной сети через токоприемник поступает на верхний вывод резистора Z_n , условно обозначающий электрическую нагрузку электровоза. Нижним выводом, через измерительный шунт $R_{ш}$ и колесные пары, Z_n соединяется с рельсами.

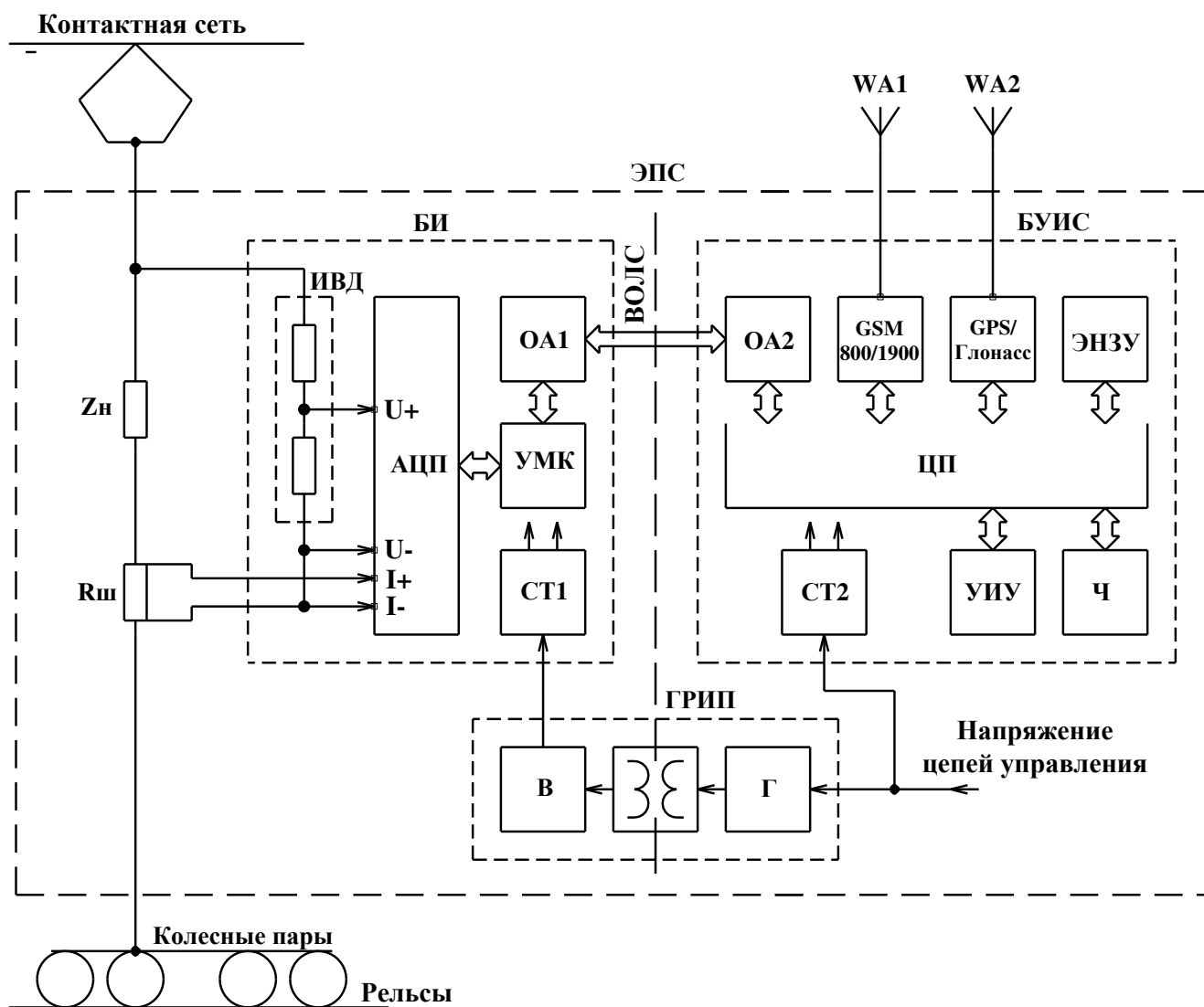


Рис.1. Структурная схема универсального прибора учета в составе ЭПС

БИ размещается в высоковольтной камере электровоза и осуществляет непосредственное измерение уровней тока и напряжения при помощи аналого-цифрового преобразователя АЦП. Для измерения тока нагрузки сигнал измерительного шунта подается на токовые входы АЦП, имеющие обозначения $I+$ и $I-$. Для измерения уровня напряжения БИ содержит измерительный высоковольтный делитель ИВД, который подключается к напряжению контактной сети, и формирует сигнал напряжения, поступающий на входы напряжения АЦП, имеющие обозначения $U+$ и $U-$. Управляющий микроконтроллер УМК управляет работой АЦП, получает от него данные, и передает полученную информацию по волоконно-оптической линии связи ВОЛС посредством оптического адаптера ОА1.

БУИС размещается вне высоковольтной камеры электровоза в месте, удобном для доступа со стороны локомотивной бригады и обслуживающего персонала. Он управляет работой БИ, принимает от него данные, обрабатывает их, накапливает и передает их по запросу на следующий информационный уровень, параллельно обеспечивая прием спутниковых сигналов и осуществляя визуальный доступ к данным со стороны человека. Результаты измерений БИ через ВОЛС посредством оптического адаптера ОА2 поступают в центральный процессор ЦП БУИС, который осуществляет вычисление необходимых электрических величин, параллельно обеспечивая управление всеми элементами блока. Результаты вычислений, содержащие усредненные и мгновенные значения тока, напряжения, а так же прямой и обратной мощности, помещаются на хранение в энергонезависимую память ЭНЗУ, откуда, посредством радиомодуля *GSM 800/1900* и антенны *WA1* передаются на следующий информационный уровень. Радиомодуль *GPS/ГЛОНАСС* посредством антенны *WA1*, расположенной на крыше локомотива, принимает сигналы спутниковых навигационных систем *ГЛОНАСС/GPS*, обеспечивая определение и фиксацию текущих географических координат в процессе движения локомотива, а так же формирует сигналы точного времени, необходимые для синхронизации моментов измерений. Сигналы точного времени синхронизируют встроенные часы Ч, необходимые для нормальной работы прибора в случае временной потери сигналов со спутников. Непосредственное взаимодействие с человеком осуществляется через устройство индикации и управления УИУ, содержащее графический дисплей и валкодер. Стабилизатор СТ2 обеспечивает питание всех элементов БУИС от сети цепей управления электровоза, формируя необходимые внутренние питающие напряжения.

Электропитание всех элементов БИ обеспечивает гальванически развязанный источник питания ГРИП, получающий энергию от сети цепей управления электровоза, и содержащий в себе силовой высокочастотный генератор Г, воздушный трансформатор ВТ и выпрямитель В. Выходное напряжение ГРИП подается на стабилизатор СТ1, размещенный в составе БИ и формирующий набор напряжений, необходимых для питания всех его элементов. Воздушный трансформатор ВТ реализует гальваническую развязку

входного и выходного напряжения, обеспечивая электрическую прочность изоляции, регламентированную отраслевыми стандартами.

В настоящее время по представленной структурной схеме в Омском государственном университете путей сообщения построено несколько экспериментальных приборов, которые после проведения испытаний планируется использовать в составе ЭПС для проведения синхронных измерений и выявления участков дороги с повышенным удельным расходом и потерями электроэнергии на тягу поездов.

Список литературы

1. Черемисин, В. Т. Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров // Инновационные проекты и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2012. – С. 9 – 15.

2. Черемисин, В. Т. Оценка потенциала повышения энергетической эффективности системы тягового электроснабжения / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – 2013. – № 2 (14). – С. 75 – 84.

3. Черемисин, В. Т. Повышение энергетической эффективности электротяги при внедрении мониторинга электроэнергии на фидерах контактной сети / В. Т. Черемисин, А. Л. Каштанов, М. М. Никифоров // Транспорт Урала. – 2015. – № 2 (45). – С. 67 – 70.

4. Черемисин, В. Т. Этапы реализации автоматизированной системы мониторинга энергоэффективности перевозочного процесса / В. Т. Черемисин, С. Ю. Ушаков, Д. В. Пашков, М. М. Никифоров // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 3. – С. 45 – 49.

5. Никифоров, М. М. Апробация технологии функционирования автоматизированной системы мониторинга энергоэффективности перевозочного процесса / М. М. Никифоров // Инновации в системах обеспечения движения поездов: Материалы I Международной науч.-практич. конф. «Инновации в системах обеспечения движения поездов» / Самара: СамГУПС, 2016. – С. 70 – 73.

6. Никифоров, М. М. Экспериментальная оценка потерь электроэнергии в преобразовательных агрегатах тяговых подстанций постоянного тока за счет применения АСУЭ ФКС / М. М. Никифоров, Ю. В. Плотников // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте. Материалы второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Омск, 2016. – С. 234 – 241.

7. Пат. 156167 Российская Федерация, МПК G01R 21/00 (2006.00) Счетчик электрической энергии для тяговых подстанций и подвижного состава железнодорожного транспорта с питанием от сети постоянного тока / Чижма С. Н., Лаврухин А. А., Малютин А. Г., Окишев А. С., Плотников Ю. В., Чегодаев Ф. В.; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. – № 2015100595/28; заявл. 12.01.2015; опубл. 10.11.2015.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Плотников Юрий Викторович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Инженер-исследователь научно-производственной лаборатории

«Энергосберегающие технологии и электромагнитная совместимость»

ОмГУПС.

Тел.: (3812) 44-39-23

E-mail: ra9mjr@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Plotnikov Yuriy Viktorovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Research engineer of scientific and industrial laboratory «Energy saving technologies and electromagnetic compatibility» OSTU.

Phone: (3812) 44-39-23

E-mail: ra9mjr@mail.ru

УДК 629.4.072.2

С. С. Саркенов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НОРМООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РАСХОД И ПОТРЕБИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ

В статье рассматриваются вопросы моделирования электроподвижного состава и системы тягового электроснабжения с целью решения задачи по сокращению потребления

электроэнергии на тягу поездов в условиях изменения расписания грузовых поездов. Имитационное моделирование выполнено для условий изменения массы поезда и нагрузки на ось. Описание полученных результатов выполнено на основе регрессионных моделей и нейронных сетей, приведен порядок применения моделей на практике.

Ключевые слова: график движения поездов, тяговые расчеты, система тягового электроснабжения, расход электроэнергии, потери электроэнергии, масса поезда, нагрузка на ось, межпоездной интервал, пакет поездов, нейросетевая модель.

Sovetkhan S. Sarkenov

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

ESTIMATION OF THE EFFECT OF NORMAL FORMING FACTORS ON THE FLOW AND LOSS OF ELECTRIC ENERGY IN THE CONTACT NETWORK UNDER THE CONDITIONS OF THE INTENSIVE ORGANIZATION OF TRAVELING TRAVEL TRAFFIC

The article deals with the modeling of the electric rolling stock and traction power supply system with the aim of solving the problem of reducing the electric power consumption for the traction of trains in the conditions of changing the schedule of freight trains. Simulation modeling is performed for the conditions of changing the mass of the train and the load on the axis. The description of the results obtained is based on regression models, the order of application of models in practice is given.

Keywords: train traffic schedule, traction calculations, traction power supply system, electric power consumption, power losses, train mass, axle load, inter-train interval, train package, neural network model.

Потребления электроэнергии на тягу поездов относится к одной из приоритетных задач при реализации государственной политики в сфере энергосбережения. Государственная политика в данной сфере стимулирует мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности, вводя, например, льготное налогообложение для объектов высокой энергетической эффективности [1]. Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» определяет целевые ориентиры повышения энергетической эффективности перевозок [2]. В связи с развитием информационных технологий в области организации движения поездов представляется актуальным решение задачи организации движения грузовых поездов по критерию снижения потребления электроэнергии на тягу поездов или повышения энергетической эффективности перевозочного процесса [3].

Рассмотрим взаимодействие электроподвижного состава и системы тягового электроснабжения в условиях организации движения грузовых поездов на участках железных дорог с различными типами профиля пути. С этой целью для ряда участков железной дороги выполнены тяговые расчеты с помощью программного комплекса «КОРТЭС» в условиях изменения масс составов и нагрузки на ось [4]. Фрагмент тягового расчета в программном комплексе «КОРТЭС» представлен на рис. 1.

В качестве участков рассмотрены двухпутные участки железных дорог постоянного тока, режим питания межподстанционных зон на которых – двусторонний параллельный [5].

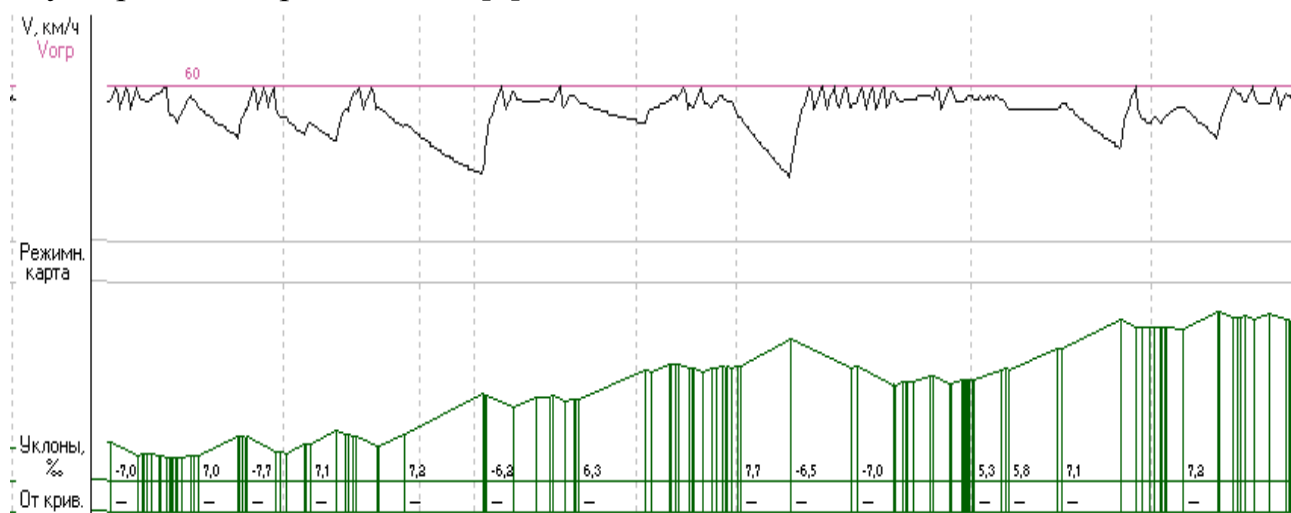


Рис. 1. Фрагмент тягового расчета в программном комплексе «КОРТЭС»

В качестве параметров графика движения поездов для условий пакетной организации движения рассматривается межпоездной интервал и количество поездов в пакете. При моделировании принято, что изменение межпоездного интервала выполняется в диапазоне от 10 до 18 мин с шагом одна минута, изменение количества поездов в пакете – от трех до восьми штук с шагом один поезд.

На основании данных ТХО-125 (рис. 2) принимается: изменение масс грузовых поездов в диапазоне от 1000 до 7000 тонн с шагом 1000 тонн; изменение нагрузки на ось в диапазоне от 5 до 25 т/ось с шагом 5 т/ось.

В программном комплексе «КОРТЭС» на основании тяговых расчетов, были смоделированы суточные графики движения поездов на всех типах профиля жд пути. Проведен анализ результатов электрических расчетов и на

рис. 3 представлен график зависимости удельного расхода от параметров графика движения при постоянной массе и нагрузке на ось.

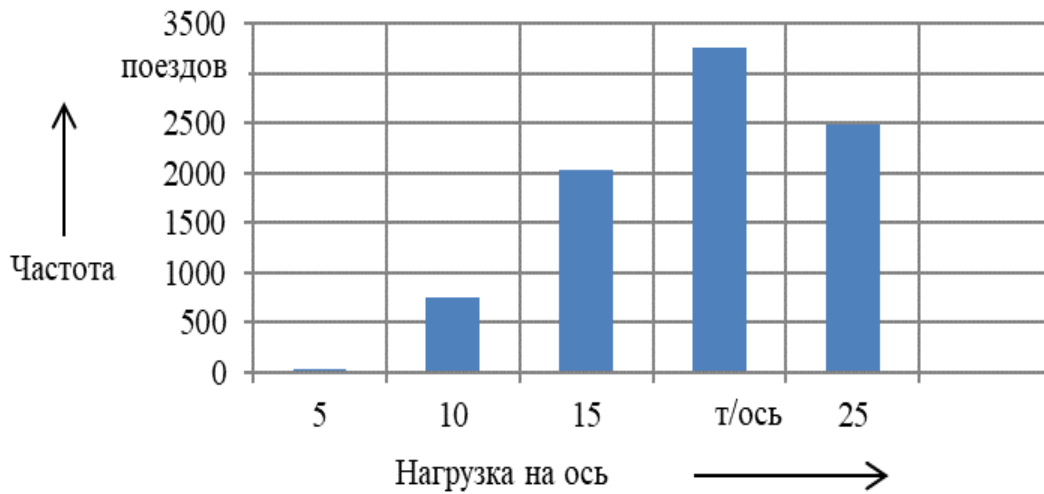


Рис. 2. Гистограмма распределение нагрузки на ось на участке за учетный период по данным ТХО-125

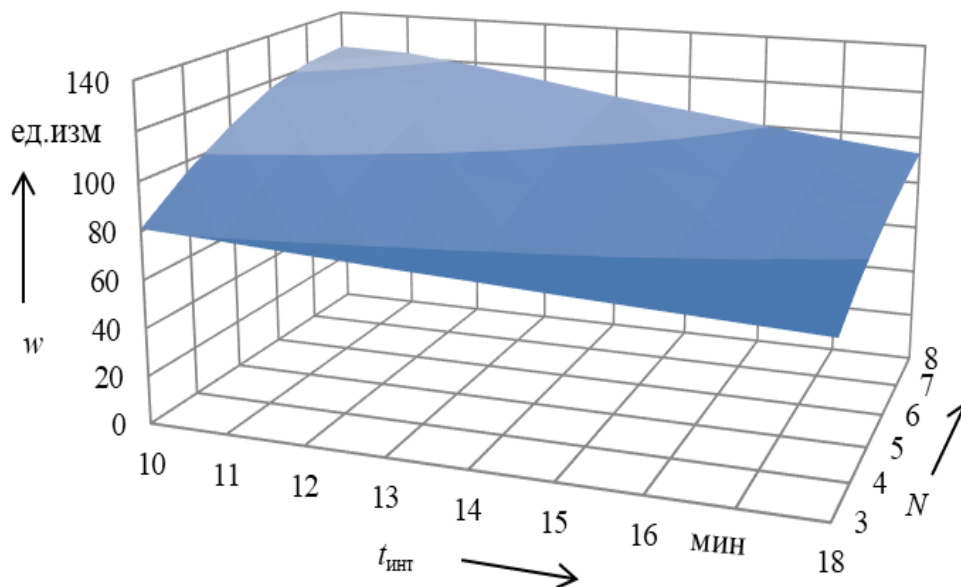


Рис. 3. График изменения удельного расхода электроэнергии в зависимости от параметров графика поездов при массе состава 6000 т. и нагрузке на ось 20 т/ось

Анализируя полученные результаты моделирования можно сделать следующие выводы:

на всех типах профиля расход электроэнергии на тягу поездов минимален при межпоездном интервале 18 мин и количестве поездов в пакете равном трем;

максимальный расход электроэнергии на тягу поездов, на всех типах профиля, при межпоездном интервале 10 мин и количестве поездов в пакете равно восьми.

Это объясняется тем, что при минимальном интервале и максимальном количестве поездов на участке вырастает потребление электроэнергии.

Для определения влияния параметров на расход и потери электроэнергии на тягу поездов воспользуемся корреляционным анализом [6]. Корреляционная зависимость удельного расхода от четырех параметров представлена в табл. 1.

Таблица 1

Корреляционная матрица удельного расхода

Нормообразующие факторы	w	$m_{ось}$	m	N	$t_{инт}$
w		-0,07	0,79	0,32	- 0,22
$m_{ось}$			0,38	0	0
m				0	0
N					0
$t_{инт}$					

Из анализа табл. 1 видно, что влияние массы состава на электропотребление значительно и достигает 79% [7]. Поэтому целесообразно рассмотреть каждую массу и нагрузку на ось отдельно. Рассмотрим корреляционную зависимость удельного расхода от параметров графика движения, т.е. от количества поездов и межпоездного интервала при постоянной массе состава и постоянной нагрузке на ось.

Таблица 2

Корреляционная матрица удельного расхода при массе состава 1000 тонн и нагрузке на ось 5 т/ось

Нормообразующие факторы	w	N	$t_{инт}$
w		0,79	- 0,56
N			0
$t_{инт}$			

Корреляционная связь удельного расхода и количества поездов в пакете прямо пропорциональна и равна 79%, а корреляционная связь межпоездного интервала обратно пропорциональна и равна 56%.

Воспользовавшись математическими аппаратами обработки массива данных [8], построим нелинейную регрессионную модель вида:

$$w_{\text{расчет}} = A + B \cdot N + C \cdot t_{\text{инт}} + D \cdot N^2 + E \cdot t_{\text{инт}}^2, \quad (1)$$

где A, B, C, D, E – коэффициенты нелинейной регрессионной модели.

На рис. 4 представлен вариант нелинейной регрессионной модели при массе состава 6000 тонн и нагрузке на ось 20 т/ось. Коэффициент детерминации данной модели равен 0,97, что больше 0,9 и позволяет говорить о достаточной точности модели.

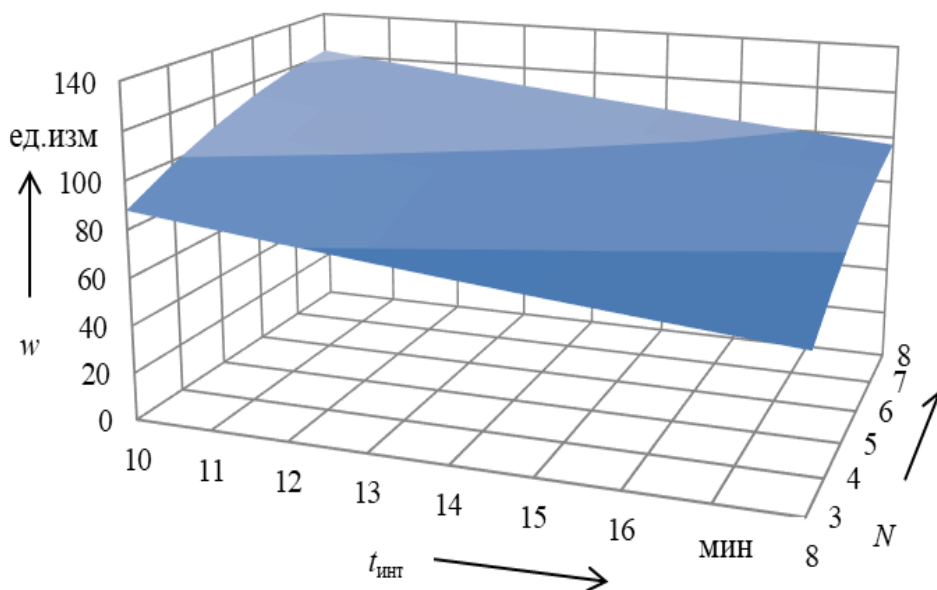


Рис. 4. Удельный расход электроэнергии в зависимости от параметров графика поездов при массе состава 6000 тонн и нагрузке на ось 20 т/ось (нелинейная регрессия)

Данную модель можно использовать в прогнозировании расхода электроэнергии на тягу поездов. При известных параметрах графика движения, количества поездов, их массы и длины, используя коэффициенты нелинейной регрессии, рассчитывается расход на будущий период.

Таким образом, результаты построения модели электропотребления на тягу поездов позволяют сделать следующие выводы.

При сокращении количества грузовых поездов в пакете с восьми до трех наблюдается сокращение удельного расхода 50,5 %, наибольшее снижение отмечается на I и II типах профиля.

При увеличении межпоездного интервала с 10 до 18 минут наблюдается снижение удельного расхода на всех типах профиля при формировании пакетного графика с тремя поездами в пакетах.

Выявленные корреляционные зависимости показывают, что при увеличении количества поездов в пакете наблюдается увеличение удельного расхода, а при увеличении межпоездного интервала – снижение удельного расхода на 70,8 % при трех поездах в пакете и на 57 % при восьми поездах в пакете;

Корреляционная матрица показывает, что влияние количества поездов в пакете на удельный расход прямо пропорциональное, а межпоездного интервала обратно пропорциональное при увеличении количества поездов в пакете с трех до восьми удельный расход увеличивается на 50,5 %, а при увеличении межпоездного интервала с 10 до 18 минут удельный расход снижается 50,5 %;

Коэффициент детерминации нелинейной регрессионной модели достигает 0,97, средняя абсолютная ошибка для модели достигает 0,04.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года [Текст]: Распоряжение ОАО «РЖД» от 15 декабря 2011 г. № 2718р. - М., 2011. - 97 с.

2. Методика анализа и прогнозирования топливно-энергетических ресурсов: [Текст] Распоряжение ОАО «РЖД» от 26 декабря 2014 г. № 512р. - ОмГУПС., 2014. - 47 с.

3. Сидорова, Е. А. Характеристика энергопотребления на тягу поездов в энергетическом паспорте железной дороги [Текст] / Е. А. Сидорова, А. И. Давыдов // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2010. – № 4 (4). – С. 76 – 80.

4. Черемисин, В. Т. Характеристики профилей пути на электрифицированных участках железных дорог в аспекте классификации типов [Текст] / В. Л. Незевак, А. В. Перестенко, В. Т. Черемисин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения / Ростовский гос. ун-т путей сообщения. – Ростов-на-Дону. – 2017. – № 2. – С. 118 – 128.

5. Черемисин, В. Т. Оценка влияния пакетной организации движения на объем электроэнергии на тягу на участках постоянного тока с I-м типом профиля [Текст] / В. Л. Незевак, С. С. Саркенов, В. Т. Черемисин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. / Иркутск: Иркутский гос. ун-т путей сообщения. – 2017. – № 3 (55). – С. 135 – 144.

6. Незевак, В. Л. Оценка изменения объема электропотребления на тягу от графика движения поездов на участках с I типом профиля пути на основе регрессионных моделей и нейронных сетей / В. Л. Незевак // Транспорт Урала. / Екатеринбург: Уральский гос. ун-т путей сообщения. – 2017. – № 4 (55). – С. 65 – 70.

7. Незевак, В. Л. Основные зависимости изменения объема электроэнергии от параметров графика движения поездов на участках постоянного тока с I-м типом профиля [Текст] / В. Л. Незевак // Известия Транссиба / Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения. – 2017. – № 2 (30). – С. 87 – 99.

8. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст] / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов и др. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Саркенов Советхан Сатжанович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.

E-mail: sovet201@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Sarkenov Sovetkhan Satganovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Post-graduate student of the department

«Rolling stock electric railway» OSTU.

E-mail: sovet201@mail.ru

Е. Ю. Салита, Т. В. Ковалева, Т. В. Комякова

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МНОГОПУЛЬСОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Повышение технико-экономических показателей преобразователей системы тягового электроснабжения постоянного тока возможно за счет применения многопульсовых схем выпрямления и инвертирования, расширения шкалы номинальных мощностей преобразователей, замены штыревых вентилей на лавинные таблеточного типа, применения сухих трансформаторов, упрощения схем и выбора рациональных параметров сглаживающих устройств. Результаты эксплуатации двадцатичетырехпульсового выпрямителя и двенадцатипульсовых выпрямительно-инверторных преобразователей доказывают целесообразность их использования.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения постоянного тока, многопульсовые преобразователи, технико-экономические показатели.

Evgeniy J. Salita, Tatiana V. Kovaleva, Tatiana V. Komyakova

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS IMPROVEMENT MULTIPLE PULSED RECTIFIERS ENERGY OF THE DIRECT CURRENT TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM

Technical and economic indicators improvement converters energy of the direct current traction power supply system is possible in use of multiple pulsed rectifiers and inversions energy, the expansion of the scale nominal capacity of transformers, replacement pin valves on the avalanche of tablets type, in use of application dry-type transformers, simplification of circuits and choice of rational parameters of the smoothing devices. The expediency of the twenty-four-pulse and twelve-pulse rectifiers and rectifier-inverter converters application is proved by the results of operation.

Keywords: direct current traction power supply system, multiple pulsed rectifier energy, technical and economic indicators.

В 2016 году распоряжением № 2537р ОАО «РЖД» от 14 декабря утверждена четвертая редакция Энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 г. и перспективу до 2030 г. [1].

Перечень мероприятий, в котором более подробно были освещены вопросы повышения энергетической эффективности системы тягового электроснабжения постоянного тока приведен в третьей редакции «Энергетической стратегии ОАО «РЖД» на период до 2015 г. и на перспективу до 2030 г.», которая была утверждена 15 декабря 2011 г. распоряжением ОАО «РЖД» № 2718 р [2, 3].

Предложения сотрудников ОмГУПСа по основным направлениям дальнейшего повышения технико-экономических показателей многопульсовых преобразователей системы тягового электроснабжения постоянного тока вошли в «Энергетическую стратегию ОАО «РЖД» на период до 2015 г. и на перспективу до 2030 г.» [2, 3]: применение многопульсовых схем выпрямления и инвертирования ($m = 12$ и более); модернизация трансформаторов типа ТМРУ (ТМПУ) и вентильных конструкций, предназначенных для шестипульсовых нулевых схем, для использования их в составе двенадцатипульсовых выпрямителей; расширение шкалы номинальных мощностей преобразователей; модернизация преобразователей путем замены отработавших свой ресурс штыревых вентилях на лавинные вентили таблеточного типа с естественной системой охлаждения и охладителями на основе тепловых труб; применение преобразовательных агрегатов с автоматическим регулированием напряжения на тяговых подстанциях и в контактной сети на новых силовых управляемых полупроводниковых вентилях; применение трансформаторов типа ТРДТНП с двенадцатипульсовой схемой выпрямления последовательного типа, предназначенных для работы без понизительных трансформаторов (одноступенчатая трансформация 110/3 кВ); применение «сухих» трансформаторов типа ТРСЗП с двенадцатипульсовой схемой выпрямления последовательного типа, устанавливаемых на открытом воздухе; упрощение схем и выбор рациональных параметров сглаживающих устройств.

На тяговых подстанциях магистральных железных дорог по состоянию на 1 января 2018 г. эксплуатируются 2055 выпрямителей и 70 выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП).

Выпрямители имеют следующие схемы: шестипульсовые ($m = 6$) – нулевую

параллельного типа и мостовую – 982 шт. (47,8 %); двенадцатипульсовые ($m = 12$) – мостовые параллельного и последовательного типа – 1073 шт. (52,2 %).

Выпрямитель с двадцатичетырехпульсовой схемой успешно эксплуатируется на одной из тяговых подстанций Западно-Сибирской железной дороги (ЗСЖД).

Из 70 ВИПов только шесть (8,6 %) имеют двенадцатипульсовую схему, остальные 64 (91,4 %) – шестипульсовые.

Одной из основных задач по повышению надежности работы и экономичности тяговых подстанций является внедрение двенадцатипульсовых выпрямителей, внедряемых по инициативе ЦЭ МПС, ОмГУПСа и ЗСЖД. Техничко-экономические преимущества их перед шестипульсовыми убедительно подтверждены исследованиями и эксплуатацией.

Использование двадцатичетырехпульсовых выпрямителей приведет к дальнейшему повышению технико-экономических показателей. При применении двадцатичетырехпульсовых выпрямителей коэффициент мощности повышается до 0,985-0,995 против 0,91-0,93 шестипульсового и 0,96-0,97 двенадцатипульсового выпрямителя, коэффициент наклона внешней характеристики снижается до 0,13 против 0,52 (шестипульсового) и 0,26 (двенадцатипульсового) выпрямителей. В сетевом токе отсутствуют гармоники с номерами 5, 7, 11, 13, 17, 19, ..., что приводит к улучшению показателей качества электрической энергии питающей сети.

Возможны два пути внедрения двенадцатипульсовых выпрямителей на тяговых подстанциях. Первый заключается в приобретении новых тяговых трансформаторов (масляных ТРМП-6300, ТРДП-12500, ТРДП-16000, ТРДТП-16000, сухих ТРСЗП-6300, ТРСЗП-12500) и новых вентильных конструкций (В-ТПЕД, ТПДЕ-Ж, В-МПП-Д и др.). Он характеризуется значительными затратами. Второй путь, характеризующийся значительно меньшими затратами, заключается в модернизации ранее установленных выпрямительных трансформаторов шестипульсовых нулевых выпрямителей параллельного типа (ТМРУ, УТМРУ и ТМПУ с габаритной мощностью 6300 и 16000 кВ·А) и эксплуатируемых вентильных конструкций с естественным воздушным охлаждением (ПВЭ-5, ТПЕД-3150, В-ТПЕД).

При переходе на двенадцатипульсовые мостовые схемы выпрямления модернизация трансформаторов состоит в перераспределении витков вторичных обмоток в соответствии с параметрами новой схемы выпрямления.

Практически любой тип трансформаторов ТМРУ и ТМПУ, выпускавшийся для выпрямителей в 50-70 годы, пригоден для реконструкции, о чем свидетельствует опыт выполнения подобных работ (по технологиям, разработанным сотрудниками ОмГУПС и работниками ЗСЖД [4]) в электромеханических мастерских ЗСЖД. Обследование внутренней части трансформаторов подтверждает, что фактический относительный износ ее составляет не более 0,15-0,25. Стоимость модернизации одного выпрямительного трансформатора не превысит 30 % от стоимости нового.

Совершенствование вентильных конструкций ПВЭ-5, ТПЕД-3150, В-ТПЕД (с сохранением общего числа вентилей, предусмотренных конструкцией и прошедших диагностические испытания) не приводит к существенным затратам, так как сводится к перераспределению числа вентилей в вентильных плечах и изменению ошиновки выпрямителя. Вентили в ранее выпущенных вентильных конструкциях (ПВЭ-3, ПВЭ-5, ТПЕД-3150, В-ТПЕД) также могут быть заменены силовыми блоками, аналогичным БСЕ (на таблеточных вентильях), выпускавшимся опытным заводом ВЭИ. Модернизация вентильных конструкций обычно проводится на местах силами ремонтно-ревизионных участков.

Работа по модернизации трансформаторов ТМРУ и ТМПУ для использования в двенадцатипульсовых выпрямителях проводится в настоящее время по сети дорог в соответствии с рекомендациями Международного симпозиума Eltrans'2001 [5].

Анализ нагрузочных режимов свидетельствует о целесообразности использования для преобразователей расширенной шкалы номинальных мощностей. Коэффициент использования преобразовательных трансформаторов на ряде тяговых подстанций сети дорог составляет 0,1 – 0,25, что приводит к неоправданным затратам и эксплуатационным расходам.

Кафедрой «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПС совместно с ООО «Эльмаш (УЭТМ)» по заказу ЦЭ МПС РФ была разработана техническая документация на преобразовательный трансформатор ТРМП-6300 для применения в двенадцатипульсовой схеме выпрямления последовательного типа. Трансформатор включен в опытную эксплуатацию в мае 1997 г. на одной из тяговых подстанций ЗСЖД.

В настоящее время ООО «Эльмаш (УЭТМ)» и ООО «Электрофизика» (г. Санкт-Петербург) выпускают сухие трансформаторы типа ТРСЗП-6300 и

ТРСЗП-12500, предназначенные для использования в двенадцатипульсовой схеме выпрямления последовательного типа. Такие трансформаторы предназначены для малообслуживаемых тяговых подстанций с пониженной пожарной опасностью. Основные преимущества этих трансформаторов перед масляными – отсутствие масла, экологичность, высокая монтажная готовность, минимальные затраты на техническое обслуживание. Современная система мониторинга позволяет постоянно контролировать ряд параметров, например, температуру обмоток и магнитопровода, и выводить данные на монитор компьютера. Дистанционный контроль состояния трансформатора может проводиться с диспетчерского пульта, что актуально при создании необслуживаемых тяговых подстанций.

При рекуперативном торможении электроподвижного состава для приема избыточной энергии на тяговых подстанциях постоянного тока применяются в составе ВИП инверторы, имеющие шестипульсовые нулевую (ВИПЭ-1) и мостовую (ВИПЭ-2) схемы. На ЗСЖД (г. Кемерово) имеется опыт использования ВИП с двенадцатипульсовой схемой параллельного типа (ВИПЭ-12).

Дальнейшим повышением технико-экономических показателей инверторов для тяговых подстанций явилось внедрение ВИП с двенадцатипульсовой схемой последовательного типа (на базе тиристорных конструкций И-ПТП, В-ПТЕ, БП-2, И-ПМП и др. и масляных ТРДП-12500/10ИУ1, ТРДТП-12500 (20000)/110ИУ1 и сухого ТРСЗП-12500/10ИУХЛ1 трансформаторов).

Внедрение мероприятий по повышению технико-экономических показателей многопульсовых преобразователей системы тягового электроснабжения постоянного тока приводит к [3, 6]:

- повышению пропускной способности участков железных дорог, снижению эксплуатационных расходов за счет повышения коэффициента мощности, снижению электромагнитного влияния на смежные устройства при увеличении числа пульсаций кривой выпрямленного напряжения;

- снижению удельного расхода электрической энергии для тяги поездов (при годовой переработке 25 – 30 млн кВт·ч составит при 12-пульсовых схемах выпрямления 2,5 %, при 24-пульсовых – 3,5 %);

- повышению экономичности системы электроснабжения и коэффициента использования установленной мощности за счет расширения

шкалы номинальных мощностей преобразователей. Использование трансформатора мощностью 6300 кВ·А вместо 12500 кВ·А позволит сократить потери электрической энергии порядка 100 тыс. кВт·ч в год в расчете на одну тяговую подстанцию, снизить расход электротехнических материалов на 40 % на единицу продукции;

– повышению динамической устойчивости, надежности работы вентильных конструкций и снижению потерь электроэнергии за счет модернизации преобразователей путем замены штыревых вентилей, отработавших свой ресурс, на лавинные вентили таблеточного типа с естественной системой охлаждения с охладителями на основе тепловых труб. Ожидаемое годовое снижение потерь электроэнергии от замены выпрямителя ПВЭ-3 диодными блоками БСЕ – около 100 тыс. кВт·ч;

– снижению потерь электроэнергии на тягу поездов примерно на 1,5 % за счет применения трансформаторов типа ТРДТНП с двенадцатипульсовой схемой выпрямления последовательного типа, предназначенных для работы без понизительных трансформаторов (одноступенчатая трансформация 110/3 кВ);

– снижению потерь электроэнергии за счет упрощения схем и использования рациональных параметров сглаживающих фильтров для преобразователей с большим числом пульсаций кривой выпрямленного напряжения.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 г. и перспективу до 2030 г. [Текст] / Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2016 г. № 2537р. – М., 2016. – 76 с.

2. Гапанович, В. А. Энергетическая стратегия и электрификация российских железных дорог [Текст] / В. А. Гапанович, С. Н. Епифанцев, В.А. Овсейчук: Под ред. Г. П. Кутового. – М.: Эко-Пресс, 2012. – 196 с.

3. Повышение эффективности систем тягового электроснабжения переменного и постоянного тока и сокращение потерь электрической энергии в них: Научная монография [Текст] / В. Т. Черемисин [и др.] / Омск :Омский гос. ун-т путей сообщения. – 2015. – 145 с.

4. Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций [Текст] / Б. С. Барковский [и др.]: Под ред. М. Г. Шалимова. – М.: Транспорт, 1990. – 127 с.

5. Магай, Г. С. Модернизация тяговых трансформаторов для использования в двенадцатипульсовых схемах выпрямления [Текст] / Г. С. Магай, Е. Ю. Салита, Т. В. Комякова и др. // Электрификация и развитие железнодорожного транспорта России. Традиции, современность, перспективы: Тезисы докладов Международного симпозиума Eltrans'2001 / ПГУПС. – СПб, 2001. – С. 69-70.

6. Салита, Е. Ю. Улучшение показателей энергетической эффективности многопульсовых выпрямителей тяговых подстанций [Текст] / Е. Ю. Салита, Т. В. Ковалева, Т. В. Комякова // Известия Транссиба / Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения. – 2017. – № 3(31) – С. 114 – 123.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Салита Евгений Юрьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроснабжение железнодорожного
транспорта» ОмГУПС.
Тел.: (3812) 31-34-46.
E-mail: tatevgeniy@list.ru

Ковалева Татьяна Владимировна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Теоретическая электротехника» ОмГУПС.
Тел.: (3812) 31-06-88.
E-mail: tatevgeniy@list.ru

Комякова Татьяна Владимировна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, проректор по
учебной работе, доцент кафедры
«Электроснабжение железнодорожного
транспорта» ОмГУПС.
Тел.: (3812) 31-06-00.
E-mail: t_komyakova@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Salita Evgeny Jurievich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor of the department «Power supply for
railway transport» OSTU.
Phone: (3812) 31-34-46.
E-mail: tatevgeniy@list.ru

Kovaleva Tatiana Vladimirovna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor of the department «Theoretical the
electrical engineer» OSTU.
Phone: (3812) 31-06-88.
E-mail: tatevgeniy@list.ru

Komyakova Tatiana Vladimirovna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, vice-rector
of education, Associate Professor of the
department «Power supply for railway
transport» OSTU.
Phone: (3812) 31-06-00.
E-mail: t_komyakova@mail.ru

О. С. Аблялимов

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭЛЕКТРОВОЗОВ 3ВЛ80^С НА УЧАСТКЕ КАТТАКУРГАН – НАВОИ УЗБЕКСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Представлены результаты исследований по оценке энергетической эффективности использования электровозов 3ВЛ80^С на холмисто – горном участке железнодорожного пути при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Ключевые слова: исследование, результат, грузовой поезд, электровоз, железнодорожный путь, участок пути, эксплуатация, разъезд, анализ, станция, холмисто-горный.

Oleg S. Ablyalimov

Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET),
Tashkent, the Republik of Uzbekistan

TO OF USE OF THE 3VL80^S ELECTRIC LOCOMOTIVES ARE GIVEN ON THE KATTAKURGAN – NAVOI ROAD SECTION UZBEK RAILWAY

Introduced the results of the investigation of the energyly on evaluation of efficiency of the 3VL80^S electric locomotives on a hilly-mountainous road section of railway track by of the movement freight trains without and with stopping on through stations, passing-tracks and division points.

Keywords: investigation, result, the freight train, the electric locomotive, railway track, road section, exploitation, the stage, analyses, the station, hilly-mountainous.

Сотрудники кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ТашИИТа совместно со специалистами локомотивного комплекса АО «Ўзбекистон темир йўллари» активно проводят исследования по обоснованию параметров основных показателей перевозочной работы различных серий (типов) локомотивов электрической тяги с учётом их тягово – энергетических характеристик.

Данные исследования являются продолжением работ [1,2] и посвящаются определению кинематических параметров движения грузовых поездов и

параметров основных показателей использования трёхсекционных магистральных (поездных) электровозов ЗВЛ80^С на участке Каттакурган – Навои холмисто – горного железнодорожного направления Самарканд – Навои – Бухара узбекской железной дороги. Вождение грузовых поездов с максимальной массой состава $Q = 3500$ т и числом осей в составе $m = 200$ осей осуществлялось упомянутыми электровозами ЗВЛ80^С без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах.

Поставленная цель исследований была реализована путём выполнения "классического" тягового расчёта [3,4], используя при этом номинальную позицию контроллера машиниста исследуемого электровоза в сочетании с режимами холостого хода и торможения, а также данные работ [1,5] и рекомендации [3,4,6] теории локомотивной тяги.

В табл. 1 и табл. 2 приведены значения некоторых кинематических параметров движения грузовых поездов по перегонам участка Каттакурган – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари». Упомянутое движение осуществляли трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые электровозы ЗВЛ80^С с учётом реализации максимально возможных мощности силовых энергетических систем и тяговых свойств (качеств) локомотива, а также кинетической энергии поезда на каждом, конкретном элементе профиля пути.

Таблица 1

Время хода грузового поезда по перегонам на проход, а по промежуточным станциям, разъездам и раздельным пунктам на замедление - разгон

№ п/п	Промежуточные станции	Расстояние, км	Время хода, мин	Время на замедление/разгон, мин
1	Каттакурган	-	-	1,10/0,65
2	Разъезд № 28	11,25	9,35	0,85/0,80
3	Зирабулак	16,85	14,20	1,30/1,00
4	Зиёвуддин	27,15	19,00	1,50/1,40
5	Навои	23,50	16,70	1,40/-
6	Каттакурган - Навои	78,75	59,20	1,23/0,96

Анализ данных табл. 1 и табл. 2 с учётом работы [1] показывает, что движение грузовых поездов на исследуемом участке железной дороги, организованное без остановок на промежуточных станциях, разъездах и

раздельных пунктах по отношению к аналогичному движению с остановками на них, способствует:

- уменьшению общего времени хода поезда на 7,75 мин с увеличением технической скорости движения на 8,93 км/ч при среднем расчётном времени на одну остановку, приблизительно, в 1,94 минуты;

- значениям долей движения на режимах тяги в 29,03 процента, а холостого хода и торможения в 70,97 процента;

- уменьшению - увеличению, соответственно, долей движения в режимах тяги, холостого хода и торможения, приблизительно, на 4,55 процента.

В табл. 3 приведены значения общего (полного) и удельного расходов электрической энергии трёхсекционными магистральными (поездными) грузовыми электровозами 3ВЛ80^С в процессе организации движения с остановками на участке Каттакурган – Навои Узбекской железной дороги.

Таблица 2

Время хода грузового поезда при движении электровозов 3ВЛ80^С
по перегонам участка Каттакурган – Навои Узбекской железной дороги

№ п/п	Перегоны	Время хода поезда - движение с остановками, мин		
		по перегону	в режиме	
			тяги	холостого хода и торможения
1	Каттакурган – Рзд. № 28	10,80	3,75	7,05
2	Рзд. № 28 - Зирабулак	15,60	6,30	9,30
3	Зирабулак - Зиёвуддин	21,20	5,65	15,55
4	Зиёвуддин - Навои	19,40	6,80	12,60
5	Каттакурган - Навои	67,00	22,50	44,50

Значения общего (полного) и удельного расходов электрической энергии были вычислены по известным формулам [3,4,6], опираясь на нами построенные интегральные кривые скорости движения $V(S)$ и времени хода $t(S)$ поезда, тока $I(S)$ для исследуемого электровоза на участке Каттакурган – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Динамика времени хода грузового поезда, а также общего (полного) и

удельного расхода электрической энергии, потребляемой трёхсекционными магистральными (поездными) грузовыми электровозами 3ВЛ80^С за поездку по перегонам участка Каттакурган – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари» на разных режимах работы их силовых энергетических систем, соответственно, показаны на рис. 1 и рис. 2. Движение осуществлялось без остановок и с остановками на промежуточных станциях, отдельных пунктах и разъездах.

Таблица 3

Расход электрической энергии электровозами 3ВЛ80^С при передвижении грузового поезда по участку Каттакурган – Навои с остановками

№ п/п	Перегоны	Общий по перегонам и участку А, кВт-ч Удельный по перегонам и участку а, Вт-ч/ткм брутто
1	Каттакурган – Разъезд №28	595,60/15,58
2	Разъезд №28 - Зирабулак	1009,55/20,30
3	Зирабулак - Зиёвуддин	893,37/9,41
4	Зиёвуддин - Навои	1031,06/12,13
5	Каттакурган - Навои	3529,58/12,81

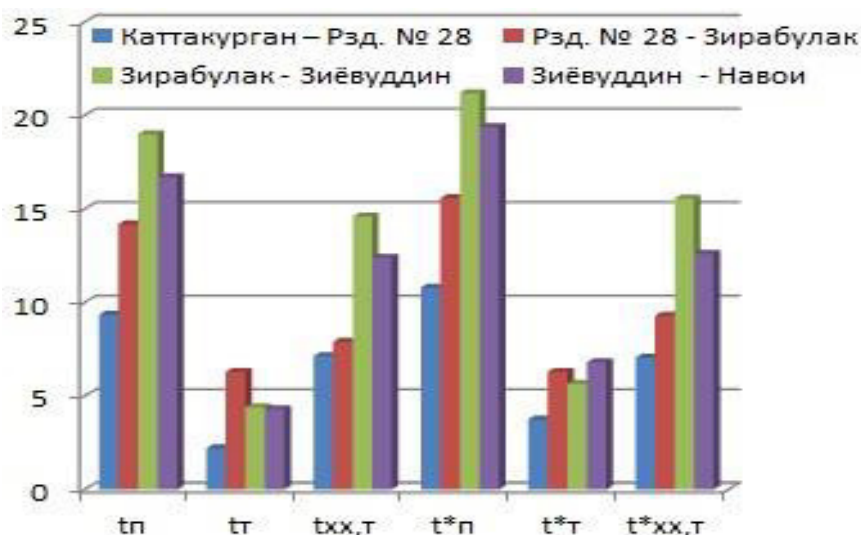


Рис. 1. Изменение времени движения грузового поезда по перегонам холмисто – горного участка Каттакурган – Навои

На рис. 1 приняты такие обозначения: время хода поезда без остановок и с остановками, соответственно, общее по перегонам участка t_n , t'_n , в режиме тяги t_T , t'_T , а в режиме холостого хода и торможения $t_{xx,T}$, $t'_{xx,T}$. а на рис. 2

обозначено: расход электрической энергии за поездку без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах, соответственно, общий (полный) A , A^* и удельный a , a^* . Для лучшей иллюстрации величин A^* и a^* на рис. 2, они были увеличены в десять раз.

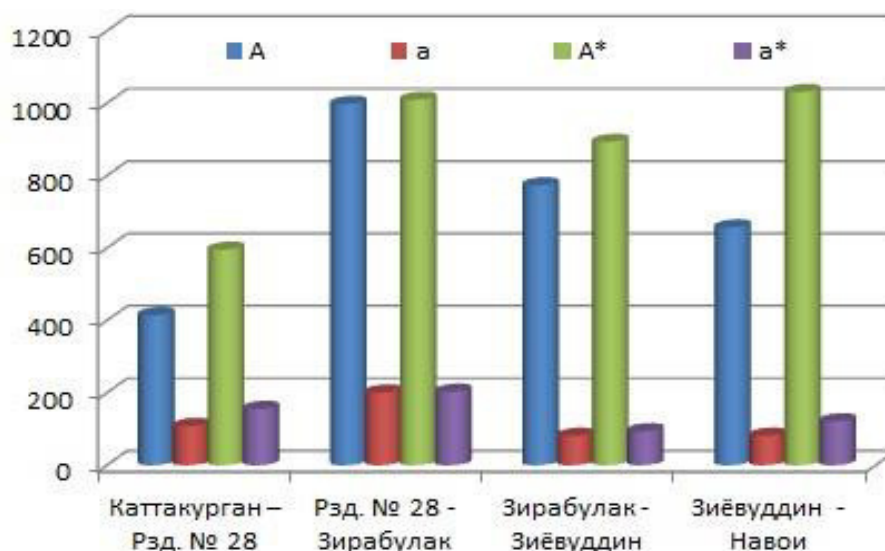


Рис. 2. Динамика расхода электрической энергии электровозами 3ВЛ80^С по перегонам участка Каттақурган – Навои Узбекской железной дороги

В результате проведённых нами исследований были получены следующие значения параметров некоторых основных показателей перевозочной работы трёхсекционных магистральных (поездных) электровозов 3ВЛ80^С на участке Каттақурган – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари»:

- усреднённое расчётное чистое время хода грузового поезда по перегонам и суммарное на разгон-замедление по промежуточным станциям, разъездам и раздельным пунктам, соответственно, составляет приблизительно 14,80 и 2,19 минуты;

- вождение грузовых поездов с остановками на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах, по сравнению с аналогичным вождением без остановок на последних, обеспечивает повышение расхода электрической энергии, в среднем, приблизительно на 43,37 процента;

- расход электроэнергии для одной остановки на промежуточных станциях разъездах и раздельных пунктах составляет, приблизительно, 266,95 кВт - ч;

- удельный расход электрической энергии на одну остановку составляет приблизительно 0,962 Вт - ч / т км брутто;

- усреднённая величина общего (полного) и удельного расходов электрической энергии для каждого перегона участка, соответственно, составляет 615,45 кВт - ч и 2,24 Вт-ч/т км брутто – движение без остановок на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах, а также 882,39 кВт - ч и 3,20 Вт-ч/т км брутто – движение с остановками на последних;

- среднее значение усреднённой величины общего (полного) и удельного расходов электрической энергии для обоих видов движения на каждом перегоне участка, соответственно, составляет приблизительно 748,92 кВт - ч и 2,72 Вт-ч/т км брутто.

Кинематические параметры движения грузового поезда и значения расхода электрической энергии, которую магистральные (поездные) грузовые трёхсекционные электровозы 3ВЛ80^С затрачивают при реализации железнодорожных перевозок грузов разных по структуре и содержанию на холмисто – горном участке Каттакурган – Навои, рекомендуются специалистам цеха эксплуатации локомотивного депо Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Также, они могут быть использованы в практике работы машинистов – инструкторов по теплотехнике и тех машинистов упомянутых выше исследуемых электровозов, которые занимаются вопросами разработки режимных карт вождения грузовых поездов и оценки тяговых качеств перегонов профиля пути на реальных холмисто – горных и других, идентичных им, виртуальных участках железных дорог.

Кроме этого, показатели энергоёмкости исследуемых электровозов в количественном и денежном (здесь не определялись) исчислении позволят инженерно – техническому персоналу локомотивного комплекса разрабатывать корректные практические рекомендации по вопросам прогнозирования и нормирования расхода электрической энергии на тягу поездов.

Список литературы

1. Абляимов О. С. Исследование перевозочной работы электровозов 3ВЛ80^С на холмисто – горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Вестник транспорта Поволжья / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. – № 5 (59) – С. 16 – 22.

2. Абляимов, О. С. К исследованию эксплуатации электровозов на холмисто – горном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов,

А. П. Вохидов, И. Р. Омонов // XI-я Международная научно-практическая конференция «Локомотивы. Газомоторное топливо. (Проблемы. Решения. Перспективы)» / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. – С. 37 – 42.

3. Кузьмич, В. Д., Теория локомотивной тяги [Текст] / В. Д Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель // Учебник для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 448 с.

4. Деев, В. В. Тяга поездов [Текст] / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин // Учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.

5. Абляимов, О. С. Исследование эксплуатации тепловозов UzTE16M3 на холмисто – горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Вестник транспорта Поволжья / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. – № 3 (57) – С. 16 – 22.

6. Абляимов, О. С. Основы управления локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков // Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Ташкент: «Davr», 2012. – 392 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Абляимов Олег Сергеевич

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Элтузар, д. 25, г. Ташкент, 100167,
Республика Узбекистан.
Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, доцент кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство»
ТашИИТ.
Тел. +998371-254-52-16
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Tashkent institute of railway transport
engineering (TashIET).
25, Eltuzar str., Tashkent, 100167,
the Republik of Uzbekistan.
Candidate of Engineering Sciences, chief
scientific worker, associate professor of the
chair «Locomotives and locomotive, economy»
TashIET.
Phone. +998371-254-52-16
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

О. С. Абляимов

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

ТЯГОВЫЕ КАЧЕСТВА ПРОФИЛЯ ПУТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЧАСТКА КАТТАКУРГАН – НАВОИ ПРИ ДИЗЕЛЬНОЙ ТЯГЕ

Представлены результаты исследований по обоснованию тягового качества профиля пути перегонов холмисто - горного участка железной дороги в виде табличных данных и графических зависимостей, которые были получены при движении грузовых поездов без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Ключевые слова: исследование, грузовой поезд, тепловоз, железнодорожный путь, участок пути, эксплуатация, разъезд, тяговые качества, холмисто-горный, профиль пути.

Oleg S. Ablyalimov

Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET),
Tashkent, the Republik of Uzbekistan

THE TRACTIVE QUALITIES PROFILE TRACK STAGES OF RAILWAY ROAD SECTION KATTAKURGAN – NAVOI BY DIESEL TRACTION

Introduced the results of the investigation of the justification of the tractive quality profile track stages on a hilly-mountainous direction of railway as in the form of tabular dates and graphic arts dependences, which have received by of the movement freight trains without stopping on through stations, passing-tracks and division points.

Keywords: investigation, the freight train, the diesel locomotive, railway track, road section, exploitation, the stage, tractive qualities, hilly-mountainous, profile track.

Повышение эффективности перевозочной работы магистральных (поездных) локомотивов дизельной тяги на неэлектрифицированных участках узбекских железных дорог, несомненно, является важной проблемой железнодорожной отрасли Узбекистана.

Для подтверждения достоверного отражения энергетики реального перевозочного процесса, на наш взгляд, один из самых результативных способов оценки будет заключаться не только и не столько в обосновании параметров основных показателей использования (перевозочной работы) локомотивов в условиях эксплуатации, сколько в определении тягового качества (трудности) разного по типу и виду железнодорожного профиля пути.

Все без исключения реальные участки железных дорог, в том числе и узбекские, по своей структуре и содержанию состоят из различной

совокупности разных по характеристикам (подъёмы, спуски, площадки, длина) элементов профиля с учётом наличия кривых участков железнодорожного пути.

Отметим [1], что железнодорожные участки пути классифицируются в зависимости от сочетания крутизны, протяжённости и последовательности расположения уклонов элементов профиля и подразделяются на четыре разных типа, а именно: равнинный, холмистый, холмисто – горный и горный.

Очевидно, каждый из перечисленных выше типов железнодорожных участков различается по тяговым качествам (свойствам) профиля пути, которые характеризуют трудность последних, что существенно будет влиять на характер движения поезда, работу силовых энергетических установок и тягово - энергетические характеристики локомотивов, а также расход топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

Данные исследования направлены на обоснование тяговых качеств (трудности) профиля пути перегонов одного из реальных участков узбекских железных дорог, опираясь на некоторые параметры основных показателей перевозочной работы магистральных (поездных) грузовых локомотивов.

Объект исследования – трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые тепловозы серии 3ТЭ10М и спрямлённый профиль пути участка Каттакурган – Навои холмисто – горного направления Самарканд – Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Предмет исследования составляют кинематические параметры движения грузового поезда унифицированной массы состава и параметры показателей энергетической эффективности исследуемых тепловозов 3ТЭ10М на заданном участке Каттакурган – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Аналогично [2], опираясь на результаты работ [3,4], методика исследований предусматривала проведение сравнения различных тяговых качеств ("трудностей") профиля пути между перегонами исследуемого участка Каттакурган - Навои при движении грузовых поездов без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

За критерий такого сравнения (оценки) были приняты приведённые значения общего (полного) и удельного расхода натурального дизельного топлива на тягу поездов [5], которые характеризуют распределённый на единицу времени работы силовых энергетических установок локомотива под нагрузкой, то есть на режиме тяги, расход натурального дизельного топлива тепловоза в реальных условиях эксплуатации.

В табл. 1 и табл. 2 обозначены, соответственно, кинематические параметры движения грузового поезда с унифицированной массой состава $Q=3000$ т (число осей $m=200$ осей) и упомянутые расходы натурального дизельного топлива магистральными (поездными) грузовыми тепловозами 3ТЭ10М по перегонам заданного (принятого) холмисто – горного участка Каттакурган - Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Таблица 1

Кинематические параметры движения грузового поезда
по перегонам участка Каттакурган – Навои, движение без остановок

№ п/п	Перегоны	Техни- ческая скорость движения V_t , км/ч	Время хода поезда без остановок, мин		
			по перего- ну	в режиме	
				тяги	холостого хода и торможения
1	Каттакурган – Рзд. № 28	61,47	11,00	3,40	7,60
2	Рзд. № 28 - Зирабулак	68,91	15,60	9,55	6,05
3	Зирабулак - Зиёвуддин	84,41	19,00	5,90	13,10
4	Зиёвуддин - Навои	85,12	16,70	5,15	11,55
5	Каттакурган – Навои	76,40	62,30	24,00	38,30

Распределение общего и удельного расхода натурального дизельного топлива магистральными (поездными) грузовыми тепловозами 3ТЭ10М по перегонам участка Каттакурган - Навои при движении грузовых поездов без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах и показателя трудности профиля пути этого участка показаны на рис. 1. Расходы натурального дизельного топлива по оси ординат имеют следующие обозначения: E , e – соответственно, общий (полный) и удельный, а E^* , e^* – соответственно, приведённые общий (полный) и удельный. Для лучшей иллюстрации величин E^* и e^* на рис. 1, их значения были увеличены в десять раз.

Из анализа значений табл. 1 и результатов исследований [3,4] вытекает, что движение грузовых поездов на упомянутом участке Каттакурган - Навои, которое было организовано с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах способствует:

- увеличению времени хода поезда на 10,6 мин с уменьшением технической скорости движения на 11,11 км/ч при среднем расчётном времени на одну остановку приблизительно в 2,65 минуты;

- долям движения на режимах тяги в 40,47 процента, а холостого хода и торможения в 59,53 процента;

- увеличению доли движения в режиме тяги и её уменьшению в режиме холостого хода и торможения на 1,95 процента по сравнению с движением грузового поезда без остановок на промежуточных станциях и разъездах.

Таблица 2

Расход натурального дизельного топлива тепловозами 3ТЭ10М
при движении грузового поезда по участку Каттакурган – Навои

№ п/п	Перегоны	Общий по перегонам и участку E , кг Удельный по перегонам и участку e , кг/10 ⁴ ткм	
		без остановок	с остановками
1	Каттакурган – Рзд. № 28	94,34/27,91	131,46/38,88
2	Рзд. № 28 - Зирабулак	247,56/46,78	242,85/45,89
3	Зирабулак - Зиёвуддин	163,61/20,40	189,60/23,64
4	Зиёвуддин - Навои	142,29/20,11	228,97/32,21
5	Каттакурган – Навои	647,80/27,42	792,88/33,56

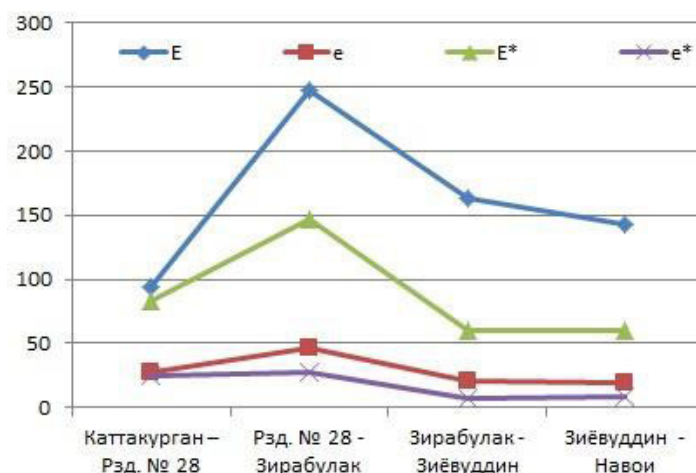


Рис. 1. Динамика расходов натурального дизельного топлива тепловозами 3ТЭ10М по перегонам участка Каттакурган – Навои, движение без остановок

По результатам проведенных исследований с учётом значений (величин) [3,4] можно сделать следующие обобщающие выводы.

1. Определены значения некоторых основных показателей перевозочной работы упомянутых тепловозов 3ТЭ10М на участке Каттакурган - Навои:

- среднее расчётное время хода грузового поезда по перегонам с остановками по промежуточным станциям, отдельным пунктам и разъездам и на разгон – замедление составляет, соответственно, приблизительно 18,22 мин, 1,15 и 1,80 минуты;

- среднее расчётное время хода грузового поезда по перегонам без остановок на промежуточных станциях, отдельных пунктах и разъездах составляет приблизительно 15,57 минуты;

- вождение грузовых поездов без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах по сравнению с вождением их с остановками на них способствует снижению общего (полного) и удельного расходов натурального дизельного топлива, соответственно, на 18,21 и 18,19 процента;

- расход натурального дизельного топлива для одной остановки на промежуточных станциях, отдельных пунктах и разъездах составляет 36,10 кг, а на один разгон - замедление этот расход, в среднем, соответствует 31,26 кг/ост.

2. Величина приведённого расхода натурального дизельного топлива общего (E^* , кг/км) / удельного (e^* , кг/10⁴ткм брутто: км) по перегонам холмисто – горного участка Каттакурган - Навои составляет:

- на наиболее трудном перегоне Разъезд № 28 – Зирабулак - 14,692/2,776 единиц – движение без остановок и 14,412/2,723 единиц – движение с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах;

- на среднем по трудности перегоне Каттакурган - Разъезд № 28 – это 8,386/2,481 и 11,685/3,456 единиц, соответственно, при движении без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и промежуточных пунктах;

- на двух лёгких перегонах Зирабулак - Зиёвуддин и Зиёвуддин - Навои происходит колебание значений, соответственно, от 6,026/0,752 до 6,055/0,856 единиц – движение без остановок и от 6,983/0,871 до 9,743/1,371 единиц - движение с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Таким образом, по железнодорожному профилю пути участка Каттакурган - Навои холмисто – горного направления Самарканд – Бухара перегон Разъезд № 28 - Зирабулак является трудным, перегон Каттакурган - Разъезд № 28 – средний по трудности, а перегоны Зирабулак - Зиёвуддин и Зиёвуддин - Навои – лёгкие.

Результаты проведённых исследований могут быть рекомендованы и полезны специалистам цеха эксплуатации локомотивного депо Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари», так как их производственная деятельность напрямую связана с оценкой тягового качества профиля пути и трассы железнодорожной линии (направления) Самарканд – Навои - Бухара.

Список литературы

1. Абляимов, О. С. Основы управления локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков // Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Ташкент: «Davr», 2012. – 392 с.
2. Абляимов, О. С. Оценка тяговых качеств профиля пути железнодорожного участка Мароканд - Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов, З. З. Ергашев, М. И. Хисматулин // Материалы IV – й Международной науч. – техн. конф. «Локомотивы. XXI век». / Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – Санкт - Петербург, 2016. – С. 112 – 115.
3. Абляимов, О. С. Исследование эксплуатации тепловозов 3ТЭ10М на холмисто – горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Научно – технический журнал «Известия Транссиба» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – № 2 (26) – С. 2 – 10.
4. Абляимов, О. С. Анализ эксплуатации тепловозов 3ТЭ10М на холмисто – горном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – № 3 (27) – С. 2 – 9.
5. Абляимов, О. С. Оценка эффективности перевозочной работы тепловозов 4ТЭ10М и тяговых качеств профиля пути участка Кумкурган – Ташгузар в условиях эксплуатации [Текст] / О. С. Абляимов // Вестник транспорта Поволжья / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2015. – № 1(49) – С. 17 – 24.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Абляимов Олег Сергеевич

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Элтузар, д. 25, г. Ташкент, 100167,
Республика Узбекистан.
Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, доцент кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство»
ТашИИТ.
Тел. +998371-254-52-16
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Tashkent institute of railway transport
engineering (TashIET).
25, Eltuzar str., Tashkent, 100167,
the Republik of Uzbekistan.
Candidate of Engineering Sciences, chief
scientific worker, associate professor of the
chair «Locomotives and locomotive, economy»
TashIET.
Phone. +998371-254-52-16
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

О. С. Абляимов

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

ОЦЕНКА ТЯГОВОГО КАЧЕСТВА ПРОФИЛЯ ПУТИ УЧАСТКА КАТТАКУРГАН – НАВОИ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

Представлены результаты исследований по обоснованию тягового качества профиля пути перегонов холмисто - горного участка железной дороги в виде табличных данных и графических зависимостей, которые были получены при движении грузовых поездов без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Ключевые слова: исследование, грузовой поезд, тепловоз, железнодорожный путь, участок пути, эксплуатация, разъезд, тяговые качества, холмисто-горный, профиль пути.

Oleg S. Ablyalimov

Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET),
Tashkent, the Republik of Uzbekistan

EVALUTION OF THE PROFILE TRACK OF TRACTIVE QUALITIES OF KATTAKURGAN – NAVOI DISTRICT BY ELECTRIC TRACTION

Introduced the results of the investigation of the justification of the tractive quality profile track stages on a hilly-mountainous direction of railway as in the form of tabular dates and graphic arts dependences, which have received by of the movement freight trains without stopping on through stations, passing-tracks and division points.

Keywords: investigation, the freight train, the diesel locomotive, railway track, road section, exploitation, the stage, tractive qualities, hilly-mountainous, profile track.

Разработка практических рекомендаций и мероприятий по повышению эффективности использования магистральных (поездных) локомотивов электрической тяги на различных по сложности электрифицированных участках узбекских железных дорог является своевременной и важной задачей АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Все реальные участки железных дорог представляют собой сочетание разных по своим характеристикам элементов профиля пути с учётом наличия кривых на этих участках. В зависимости от величины крутизны, протяжённости

и последовательности расположения уклонов элементов профиля они разделяются на следующие типы [1]: равнинный, холмистый, холмисто – горный и горный.

Каждый из обозначенных выше типов железнодорожных участков располагает своим тяговым качеством и свойством профиля пути, которые, в свою очередь, характеризуют не только его трудность и сложность, но и оказывают знаковое влияние на характер движения поезда, работу силовых энергетических установок (систем), теплотехнические и тягово – энергетические характеристики локомотивов.

Настоящие исследования были проведены для обоснования тягового качества и свойства (трудности) профиля пути перегонов на одном из реальных участков узбекских железных дорог, используя параметры основных показателей перевозочной работы магистральных (поездных) грузовых локомотивов.

Объектом исследования являются трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые электровозы серии ЗВЛ80^С и спрямлённый профиль пути участка Каттакурган – Навои холмисто – горного направления Самарканд – Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Предмет исследования - кинематические параметры движения грузового поезда максимальной массы состава и параметры показателей тягово – энергетической эффективности исследуемых электровозов ЗВЛ80^С на заданном участке Каттакурган – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Методика исследований, опираясь на [2] и результаты работ [3,4], заключалась в сравнении между перегонами разного тягового качества и свойства профиля пути исследуемого участка Каттакурган - Навои в процессе организации железнодорожных перевозок грузов без остановок и с остановками грузовых поездов на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Критерий анализа и оценки составили приведённые значения общего (полного) и удельного расхода электрической энергии на тягу поездов [5], численно равные распределённой величине расхода электрической энергии электровоза на единицу времени работы силовых энергетических установок локомотива на режимах тяги в реальных условиях эксплуатации.

В табл. 1 и табл. 2 приведены кинематические параметры движения грузового поезда с унифицированной массой состава $Q=3000$ т (число осей $m=200$ осей) и вышеупомянутые расходы электрической энергии, которая магистральными (поездными) грузовыми электровозами ЗВЛ80^С расходуется по перегонам принятого (заданного) холмисто – горного участка Каттакурган - Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Таблица 1

Кинематические параметры движения грузового поезда
по перегонам участка Каттакурган – Навои, движение без остановок

№ п/п	Перегоны	Техни- ческая скорость движения V_t , км/ч	Время хода поезда без остановок, мин		
			по перего- ну	в режиме	
				тяги	холостого хода и торможения
1	Каттакурган – Рзд. № 28	71,21/	9,20	2,00	7,20
2	Рзд. № 28 - Зирабулак	60,89	14,00	5,90	8,10
3	Зирабулак - Зиёвуддин	86,58	18,80	4,20	14,60
4	Зиёвуддин - Навои	86,68	16,40	3,90	12,50
5	Каттакурган – Навои	78,31	58,40	16,00	42,40

Таблица 2

Расход электрической энергии электровозами ЗВЛ80^С
в процессе движения грузового поезда по участку Каттакурган – Навои

№ п/п	Перегоны	Общий по перегонам и участку A , кВт-ч	
		Удельный по перегонам и участку a , Вт - ч/т км брутто	
		без остановок	с остановками
1	Каттакурган – Рзд. № 28	409,03 / 12,49	566,82 / 17,30
2	Рзд. № 28 - Зирабулак	895,50 / 21,01	908,04 / 21,30
3	Зирабулак - Зиёвуддин	698,40 / 8,58	792,43 / 9,74
4	Зиёвуддин - Навои	657,61 / 9,25	1003,3 / 14,11
5	Каттакурган – Навои	2660,54 / 11,63	3270,59 / 14,28

На рис. 1 и рис. 2 показаны, соответственно, динамика изменения общего и удельного расхода электрической энергии магистральными (поездными) грузовыми электровозами 3ВЛ80^С по перегонам участка Каттакурган - Навои при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах, и показателя трудности профиля пути этого участка. Расходы электрической энергии по оси ординат имеют такие условные обозначения: A , a – соответственно, общий (полный) и удельный, а A^* , a^* – соответственно, приведённые общий (полный) и удельный. Графики удельного расхода электроэнергии a , величин критерия оценки тягового качества и свойства A^* и a^* перегонов профиля пути на рис. 1 и рис. 2 увеличены, соответственно, в двадцать пять, десять и двести раз.

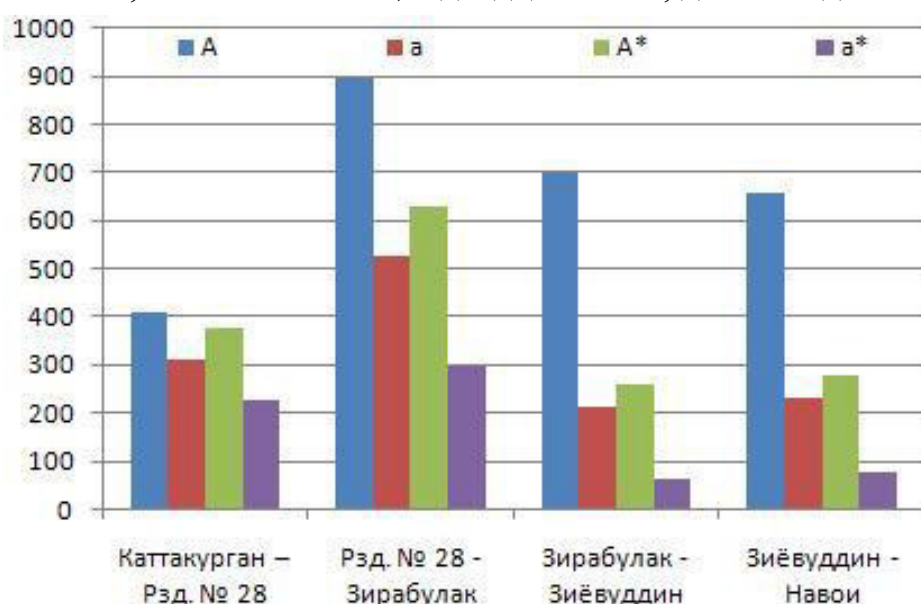


Рис. 1. Динамика расхода электрической энергии электровозами 3ВЛ80^С по перегонам участка Каттакурган - Навои, движение без остановок

Анализ значений табл. 1 и результата исследований [3,4] говорит о том, что движение грузовых поездов на упомянутом участке Каттакурган - Навои, организованное без остановок на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах, обеспечивает:

- уменьшение времени хода поезда на 7,45 мин и увеличение технической скорости движения на 8,86 км/ч при среднем расчётном времени на одну остановку приблизительно в 2,48 минуты;
- доли движения на режимах тяги в 27,40 процента, а холостого хода и торможения в 72,60 процента;

- уменьшение доли движения в режиме тяги и её увеличение в режиме холостого хода и торможения на 3,65 процента по сравнению с движением грузового поезда с остановками на промежуточных станциях, отдельных пунктах и разъездах.

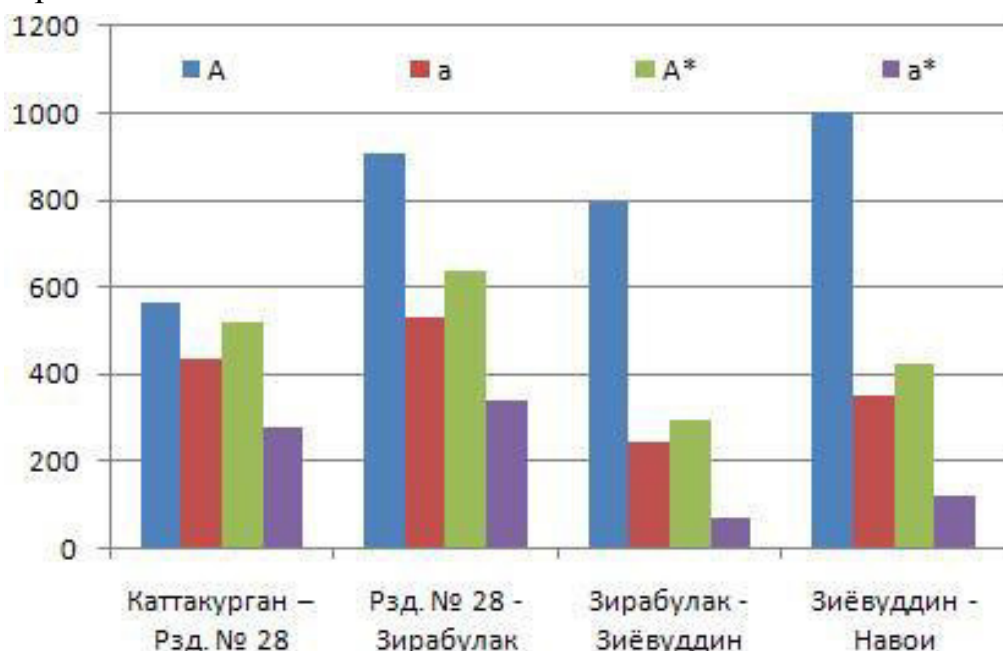


Рис. 2. Гистограмма расхода электрической энергии электровозами 3ВЛ80^С по перегонам участка Каттакурган - Навои, движение с остановками

Результаты проведенных исследований с учётом данных по работам [3,5] позволили сформулировать такие обобщающие выводы.

1. Получены следующие значения основных показателей перевозочной работы упомянутых электровозов 3ВЛ80^С на участке Каттакурган - Навои:

- среднее время движения грузового поезда по перегонам без остановок на промежуточных станциях, отдельных пунктах и разъездах – это 14,60 минуты;

- среднее время движения грузового поезда по перегонам с остановками по промежуточным станциям, отдельным пунктам и разъездам и на разгон – замедление составляет, соответственно, 16,46 мин, 0,95 и 1,21 минуты;

- движение грузовых поездов с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах по сравнению с движением их без остановок на них способствует снижению общего (полного) и удельного расхода электрической энергии, соответственно, на 22,93 и 22,78 процента;

- расход электрической энергии для одной остановки на промежуточных станциях, отдельных пунктах и разъездах составляет 203,35 кВт, а на один разгон - замедление этот расход, в среднем, соответствует 152,51 кВт.

2. Величина приведённого расхода электрической энергии общего (A^* , кВт/км) и удельного (a^* , Вт-ч/т км брутто: км) по перегонам холмисто – горного участка Каттакурган - Навои составляют:

- перегон Разъезд № 28 – Зирабулак – - 63,028 / 1,479 единиц – движение без остановок и 63,91 / 1,49 единиц – движение с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах;

- перегон Каттакурган - Разъезд № 28 - 37,46 / 1,144 единиц – движение без остановок и 51,911 / 1,584 единиц – движение с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах;

- на перегонах Зирабулак - Зиёвуддин и Зиёвуддин - Навои колебание значений в интервале от 25,743 / 0,316 до 27,755 / 0,390 единиц – движение без остановок и от 29,21 / 0,359 до 42,346 / 0,595 единиц - движение с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Железнодорожный профиль пути участка Каттакурган – Навои холмисто – горного направления Самарканд – Бухара содержит перегоны: самый трудный - Разъезд № 28 – Зирабулак, средний по трудности - Каттакурган - Разъезд № 28 и два условно лёгких - Зирабулак - Зиёвуддин и Зиёвуддин - Навои.

Полученные нами результаты исследований рекомендуются машинистам и машинистам – инструкторам по теплотехнике, а также, специалистам цеха эксплуатации локомотивного депо Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари», профессиональная и производственная деятельность которых направлена на анализ и оценку тягового качества профиля пути и трассы железнодорожной линии (направления) Самарканд – Навои - Бухара.

Список литературы

1. Абляимов, О. С. Основы управления локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков // Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Ташкент: «Davr», 2012. – 392 с.

2. Абляимов, О. С. Исследование эффективности использования электрического тягового подвижного состава на холмисто – горном участке

железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов // Транспорт Азиатско – Тихоокеанского региона / Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения. – Хабаровск, 2017. – № 2 (11). – С. 6 – 10.

3. Абляимов, О. С. Исследование перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С на холмисто – горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Вестник транспорта Поволжья / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. – № 5 (59) – С. 16 – 22.

4. Абляимов, О. С. К эффективности использования электровозов ЗВЛ80^С на холмисто – горном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, З. З. Ергашев, Т. М. Турсунов // Вторая международная научно-практическая конференция «Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 105 – 111.

5. Абляимов, О. С. Оценка эффективности перевозочной работы электрического тягового подвижного состава на холмисто – горном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов // Международный информационно - аналитический журнал «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык» / Иркутский филиал Московского гос. тех. ун-та гражданской авиации. – Иркутск, 2017. – № 4. – С. 54 – 69.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Абляимов Олег Сергеевич

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Элтузар, д. 25, г. Ташкент, 100167,
Республика Узбекистан.

Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, доцент кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство»
ТашИИТ.

Тел. +998371-254-52-16

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Tashkent institute of railway transport
engineering (TashIET).

25, Eltuzar str., Tashkent, 100167,
the Republik of Uzbekistan.

Candidate of Engineering Sciences, chief
scientific worker, associate professor of the
chair «Locomotives and locomotive, economy»
TashIET.

Phone. +998371-254-52-16

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

О. С. Абляимов

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТЕПЛОВЗОВ *UzTE16M3* НА УЧАСТКЕ КАТТАКУРГАН – НАВОИ АО «ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ»

*Представлены результаты исследований по оценке топливно – энергетической эффективности использования тепловозов *UzTE16M3* на холмисто – горном участке железной дороги при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.*

Ключевые слова: исследование, результат, грузовой поезд, тепловоз, железнодорожный путь, участок пути, эксплуатация, разъезд, анализ, станция, холмисто-горный, *Uzbekistan railways*.

Oleg S. Ablyalimov

Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET),
Tashkent, the Republik of Uzbekistan

TO USE OF THE *UzTE16M3* DIESEL LOCOMOTIVES ON THE KATTAKURGAN – NAVOI DISTRICT OF «UZBEKISTON RAILWAYS» JSC

*Introduced the results of the investigation of the fuel - energy on evaluation of efficiency of the *UzTE16M3* diesel locomotives on a hilly-mountainous road section of railway track by of the movement freight trains with and without stopping on through stations, passing-tracks and division points.*

Keywords: investigation, result, the freight train, the diesel locomotive, railway track, road section, exploitation, the stage, analyses, the station, hilly-mountainous.

Данные исследования проводились параллельно с работами [1,2] и связаны с обоснованием кинематических параметров движения грузовых поездов, параметров основных показателей и условий перевозочной работы трёхсекционных магистральных (поездных) тепловозов *UzTE16M3* на участке Каттакурган – Навои холмисто – горного железнодорожного направления Самарканд – Навои – Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Движение грузовых поездов с минимальной массой состава $Q = 2500$ т и постоянным числом осей в составе $m = 200$ осей осуществлялось упомянутыми выше тепловозами *UzTE16M3* с остановками и без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Поставленную цель исследований реализовывали при помощи тягового расчёта на номинальной позиции контроллера машиниста, исследуемого тепловоза, в сочетании с режимами холостого хода и торможения, а также данных работ [1,3] и рекомендаций [4] теории локомотивной тяги.

В табл. 1 и табл. 2 приведены значения некоторых кинематических параметров движения грузовых поездов по перегонам участка Каттакурган – Навои Узбекской железной дороги. Трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые тепловозы *UzTE16M3* реализовывали движение, используя при этом максимально возможные мощности силовых энергетических установок и тяговые качества (свойства) локомотива, а также максимальную кинетическую энергию поезда на каждом, конкретном элементе профиля пути.

Таблица 1

Время движения грузового поезда по перегонам на проход, а по разъездам промежуточным станциям, и раздельным пунктам на замедление – разго

№ п/п	Промежуточные станции	Расстояние, км	Время хода, мин	Время на замедление/разгон, мин
1	Каттакурган	-	-	1,70/0,90
2	Разъезд № 28	11,25	10,70	1,25/0,70
3	Зирабулак	16,85	14,80	1,90/1,40
4	Зиёвуддин	27,15	19,50	1,90/2,00
5	Навои	23,50	16,90	1,60/-
6	Каттакурган-Навои	78,75	61,90	1,67/1,25

Анализ данных табл. 1 и табл. 2 с учётом работы [1] свидетельствует, что движение грузовых поездов на исследуемом участке железной дороги, организованное без остановок на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах по отношению к аналогичному движению с остановками на них, обеспечивает:

- уменьшение общего времени хода поезда на 7,6 мин с увеличением технической скорости движения на 8,41 км/ч при среднем расчётном времени на одну остановку, приблизительно, в 2,53 минуты;
- значения долей движения на режимах тяги в 37,24 процента, а холостого хода и торможения в 62,76 процента;
- уменьшение долей движения в режиме тяги и увеличение в режиме холостого хода и торможения, приблизительно, на 1,32 процента.

В табл. 3 приведены значения общего (полного) и удельного расхода натурального дизельного топлива трёхсекционными магистральными (поездными) грузовыми тепловозами $U_zTE16M3$ в процессе движения с остановками на участке Каттакурган – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Таблица 2

Время хода грузового поезда при движении по перегонам участка Каттакурган – Навои с остановками, тепловозов $U_zTE16M3$

№ п/п	Перегоны	Время хода поезда, мин		
		по перегону	в режиме	
			тяги	холостого хода и торможения
1	Каттакурган – Рзд. № 28	11,60	4,80	6,80
2	Рзд. № 28 - Зирабулак	16,70	8,10	8,60
3	Зирабулак - Зиёвуддин	22,10	6,40	15,70
4	Зиёвуддин - Навои	19,10	7,50	11,60
5	Каттакурган - Навои	69,50	26,80	42,70

Значения общего (полного) и удельного расход натурального дизельного топлива определяли по [4,5] с учётом построенных нами интегральных кривых скоростей движения $V(S)$ и времени хода $t(S)$ поезда для исследуемого тепловоза на участке Каттакурган – Навои Узбекской железной дороги.

Динамика времени хода грузового поезда, а также общего (полного) и удельного расхода натурального дизельного топлива, потребляемого трёхсекционными магистральными (поездными) грузовыми тепловозами $U_zTE16M3$ на тягу поездов по перегонам участка Каттакурган – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари» на различных режимах работы их тягово - энергетических установок, соответственно, показаны на рис. 1 и рис. 2. На упомянутом участке железнодорожные перевозки грузов разных по структуре и содержанию были организованы без остановок и с остановками на промежуточных станциях, отдельных пунктах и разъездах.

На рис. 1 обозначено : время хода поезда без остановок и с остановками, соответственно, общее по перегонам участка $t_{п}, t_{п}^*$, в режиме тяги $t_{т}, t_{т}^*$, а в режиме холостого хода и торможения $t_{хх,т}, t_{хх,т}^*$. На рис. 2 показано: расход натурального дизельного топлива за поездку общий (полный) E, E^* и удельный e, e^* без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и

раздельных пунктах. Значения величин $t_{п}$, $t_{п}^*$, $t_{т}$, $t_{хх,т}^*$ - времени хода поезда, соответственно, по перегону, в режиме тяги и холостого хода, торможения на рис. 1 увеличены в 2 раза, а на рис. 2 значения удельного расхода натурального дизельного топлива e^* при движении с остановками увеличены в четыре раза.

Таблица 3

Расход натурального дизельного топлива тепловозами $U_zTE16M3$

при движении грузового поезда по участку Каттакурган – Навои с остановками

№ п/п	Перегоны	Общий по перегонам и участку Е, кг Удельный по перегонам и участку е, кг/10 ⁴ т км брутто
1	Каттакурган – Разъезд №28	113,41 / 40,26
2	Разъезд №28 - Зирабулак	189,40 / 42,95
3	Зирабулак - Зиёвуддин	155,79 / 23,31
4	Зиёвуддин - Навои	177,88 / 30,03
5	Каттакурган - Навои	636,48 / 32,09

Значения параметров некоторых основных показателей перевозочной работы трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов $U_zTE16M3$ на участке Каттакурган – Навои Узбекской железной дороги, полученные нами в результате проведённых исследований, обозначены ниже:

- среднее расчётное время хода грузового поезда по перегонам на проход и общее на разгон – замедление по промежуточным станциям, разъездам и раздельным пунктам составляет приблизительно 15,47 и 2,92 минуты;

- движение грузовых поездов без остановок на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах, по сравнению с аналогичным движением с остановками на них, способствует снижению расхода натурального дизельного топлива, в среднем, приблизительно на 13,76 процента;

- расход натурального дизельного топлива для одной остановки на промежуточных станциях составляет, приблизительно, 29,20 кг, а на один разгон-замедление этот расход, в среднем, соответствует 29,46 кг/ост;

- удельный расход натурального дизельного топлива на одну остановку составляет приблизительно 1,1473 кг / 10⁴ т км брутто;

- усреднённая величина общего и удельного расходов натурального дизельного топлива по каждому перегону исследуемого участка, соответственно, составляет 137,22 кг и 6,917 кг/10⁴ т км брутто – движение без

остановок; а также 159,12 кг и 8,02 кг/10⁴т км брутто – движение с остановками;

- среднее значение усреднённой величины общего и удельного расходов натурального дизельного топлива для обоих видов движения на каждом перегоне участка, соответственно, составляет 148,17 кг и 7,47 кг/10⁴т км брутто.

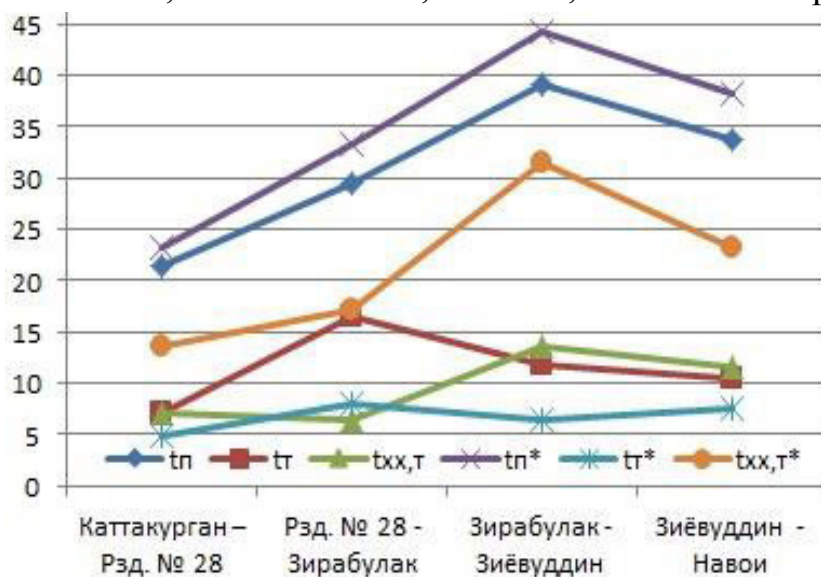


Рис. 1. Динамика изменения времени движения грузового поезда по перегонам холмисто – горного участка Каттакурган – Навои

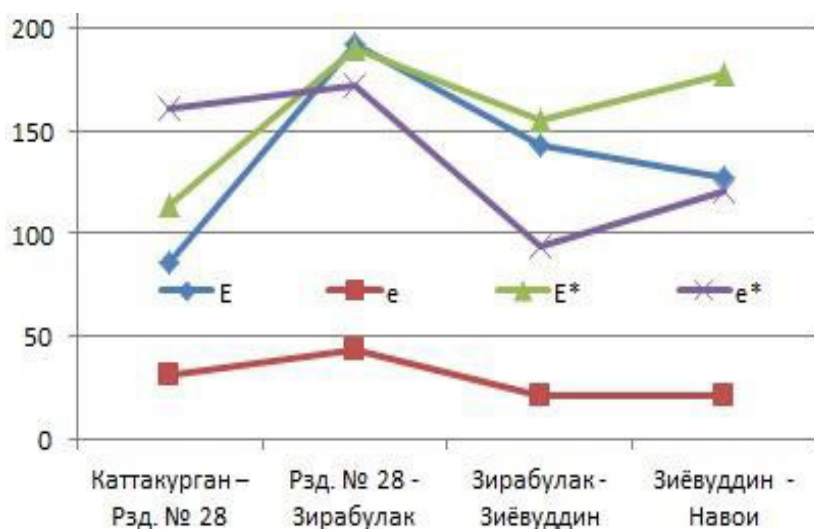


Рис. 2. Динамика расхода натурального дизельного топлива тепловозами *UzTE16M3* по перегонам участка Каттакурган – Навои

Кинематические параметры движения грузового поезда и значения расхода натурального дизельного топлива, расходуемого трёхсекционными магистральными (поездными) грузовыми тепловозами серии *UzTE16M3* в

процессе реализации железнодорожных перевозок грузов на участке Каттакурган – Навои, рекомендуются сотрудникам (специалистам) цеха эксплуатации локомотивного депо Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Машинисты – инструкторы, связанные с разработкой режимных карт вождения грузовых поездов и норм расхода натурального дизельного топлива на тягу поездов, а также оценкой тягового качества перегонов профиля пути реальных холмисто – горных и идентичных им виртуальных участков железных дорог, также, могут использовать в своей практической деятельности.

Полученные нами значения показателей топливно – энергетической эффективности исследуемых тепловозов позволят инженерно – техническим работникам локомотивного хозяйства и движения Узбекской железной дороги разрабатывать корректные практические мероприятия и рекомендации по экономному расходованию натурального дизельного топлива на тягу поездов.

Список литературы

1. Абляимов, О. С. Исследование эксплуатации тепловозов *UzTE16M3* на холмисто – горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Вестник транспорта Поволжья / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. – № 3 (57). – С. 17 – 24.

2. Абляимов, О. С. К вопросу эксплуатации тепловозов *UzTE16M3* на участке Мароканд – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Межд. - й информационно-аналитический журнал «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык» / Иркутский филиал Московского гос. тех. ун-та гражданской авиации. – Иркутск, 2017. – № 3. – С. 27 – 34.

3. Абляимов, О. С. Исследование эффективности использования локомотивов дизельной тяги на холмисто – горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Вестник транспорта Поволжья / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. – № 5 (59). – С. 17 – 24.

4. Абляимов, О. С. Основы управления локомотивов [Текст] / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков // Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта. – Ташкент: «Davr», 2012. – 392 с.

5. Абляимов, О. С. Оценка эффективности использования дизельного тягового подвижного состава на холмисто – горном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов // Транспорт Азиатско – Тихоокеанского региона / Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения. – Хабаровск, 2017. – № 3 (12). – С. 6 – 11.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Аблялимов Олег Сергеевич

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Элтузар, д. 25, г. Ташкент, 100167,
Республика Узбекистан.

Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, доцент кафедры
«Локомотивы и локомотивное хозяйство»
ТашИИТ.

Тел. +998371-254-52-16

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Tashkent institute of railway transport
engineering (TashIET).
25, Eltuzar str., Tashkent, 100167,
the Republic of Uzbekistan.

Candidate of Engineering Sciences, chief
scientific worker, associate professor of the
chair «Locomotives and locomotive, economy»
TashIET.

Phone. +998371-254-52-16

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

УДК 629.423

И. А. Баринов, В. С. Иванов

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС),
г. Иркутск, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛОВЫХ IGBT-ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ВЫПРЯМЛЕНИЯ И ИНВЕРТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

В статье представлены перспективные способы управления силовыми выпрямительно-инверторными преобразователями современного отечественного электроподвижного состава переменного тока, основанные на использовании в силовой схеме полностью управляемых полупроводниковых приборов – силовых IGBT-транзисторов. Для представленных способов приведены схематические решения, отображены особенности протекания электромагнитных процессов на примере диаграмм импульсов основных токов и напряжений в режиме рекуперативного торможения. При условии управления плечами преобразователей в соответствии с переработанными алгоритмами, использование IGBT-транзисторов позволяет добиться существенного повышения коэффициента мощности электроподвижного состава как в режиме тяги, так и в режиме рекуперативного торможения.

Ключевые слова: преобразование энергии, выпрямительно-инверторный преобразователь, энергетическая эффективность, коэффициент мощности, рекуперативное торможение.

POWER IGBTs APPLICATION IN ELECTRIC ROLLING STOCK HIGH-PERFORMANCE ENERGY RECTIFICATION AND INVERSION

The article presents some prospective reversible power converter control methods for modern Russian AC-fed electric rolling stock, based on circuit application of power IGBTs as fully controllable semiconducting devices. The introduced methods are accompanied by their respective power circuits as well as an exemplary diagram of converter's basic currents and voltages during regenerative brake mode. Coupled with specifically revised control algorithms, the application of IGBTs allows for a significant increase in electric rolling stock power factor both during traction and energy regeneration.

Keywords: energy conversion, reversible power converter, energy efficiency, power factor, regenerative brake

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на сегодня занимают прочные позиции в перечне главных векторов развития отечественного железнодорожного транспорта. Необходимость внедрения в отрасли энергосберегающих технологий и решений заявлена во всех базовых программах развития, принятых Российскими железными дорогами: Стратегия инновационного развития ОАО «РЖД» («Белая книга»), Стратегия научно-технического развития, Энергетическая стратегия холдинга и др. Особенно актуализирована проблема энергосбережения и потребления энергоресурсов в Энергетической стратегии. При этом, согласно представленной в документе структуре энергетического баланса ОАО «РЖД» на 2015 г., основной статьей энергопотребления холдинга является непосредственно тяга поездов – свыше 70 % от общего потребления [1]. Более половины этого сегмента составляет электроэнергия, что объясняется значительной загруженностью и протяженностью в России электрифицированных железнодорожных линий.

Повышение энергоэффективности электрической тяги является давним направлением работы отечественной науки и во многом достигалось модернизацией электроподвижного состава – того звена системы «тяговая подстанция – контактная сеть – тяговая единица», который непосредственно потребляет электроэнергию и преобразует ее в тяговое усилие [2].

Несмотря на прогресс в увеличении энергетических показателей электроподвижного состава (ЭПС), электрическая тяга до сих пор имеет потенциал к повышению эффективности. Один из основных энергетических

показателей электровозов, коэффициент мощности ($\cos \varphi$ или K_M), в режиме тяги у современных электровозов и электропоездов не превышает 0,84, а при рекуперации энергии составляет не более 0,65 [3]; в последнем случае столь низкая эффективность преобразования энергии противоречит самой сущности рекуперативного торможения как энергосберегающей технологии.

Низкий коэффициент мощности ЭПС связан прежде всего с особенностями работы типового выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП), которые, в свою очередь, обусловлены его тиристорной архитектурой. Таким образом, в проблеме повышения энергоэффективности ЭПС существенную роль играет совершенствование ВИП [4].

В связи с вышесказанным интерес могут представлять сравнительно новые технологии в области силовых полупроводниковых приборов. В последние годы в среде отечественных специалистов и ученых обсуждается перспектива замены тиристорной элементной базы ВИП на биполярные транзисторы с изолированным затвором или IGBT-транзисторы (англ. Insulated Gate Bipolar Transistor). Упрощенная силовая схема подобного электровоза в расчете на одну тележку изображена на рис. 1.

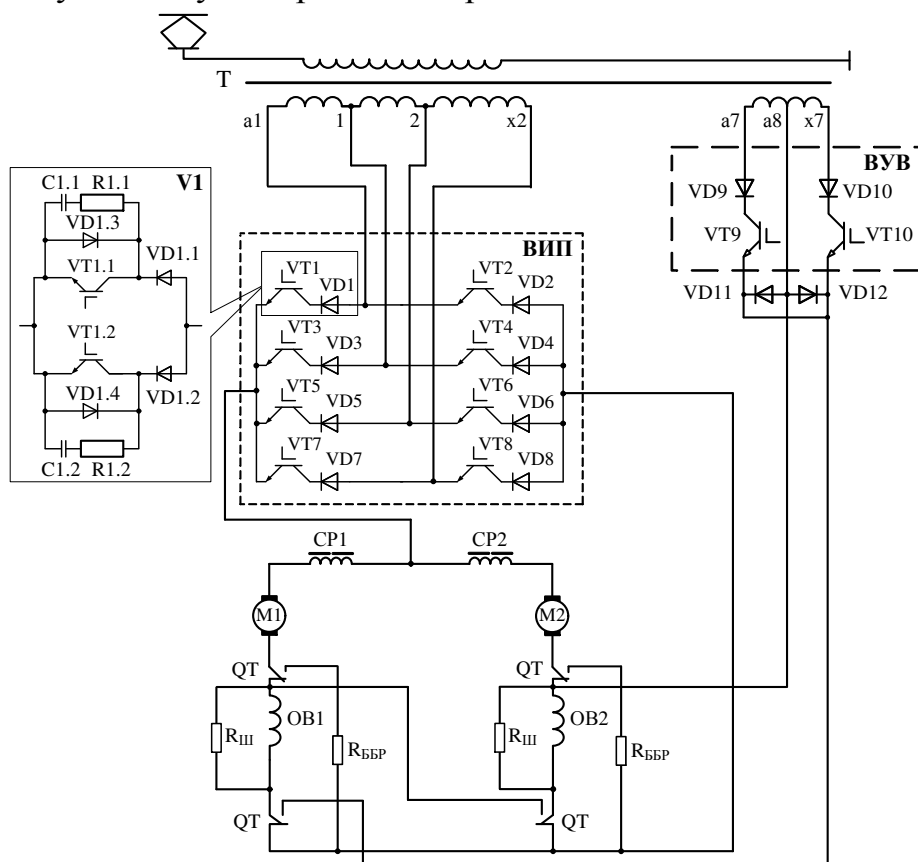


Рис. 1. Упрощенная силовая электрическая схема электровоза с ВИП и ВУВ на базе IGBT-транзисторов в расчете на одну тележку

Хотя ЭПС с преобразователями на базе IGBT-транзисторов на некоторых зарубежных железных дорогах получил распространение уже в 2000-х гг. [5], освоение данных полупроводниковых приборов отечественным электровозостроением до сих пор находится лишь в ранней стадии.

Организация работы ВИП на полностью управляемых полупроводниковых приборах подразумевает разработку специальных алгоритмов управления плечами как для режима тяги, так и для режима рекуперации. Полученные в данной области результаты уже позволяют говорить о росте коэффициента мощности электровоза до 0,9 и выше в обоих режимах ведения поезда, что достигается благодаря уменьшению продолжительности коммутации плеч и практически полному устранению угла сдвига фаз φ между гармониками тока и напряжения [4, 6]. Транзисторный ВИП также обладает преимуществом в надежности: применяемый в рекуперации алгоритм управления плечами исключает угрозу образования аварийного режима – т. н. «опрокидывания инвертора».

Однако если полная замена элементной базы преобразователей целесообразна при создании новых серий электроподвижного состава, другое техническое решение благодаря его экономичности, простоте реализации и сопоставимости достигаемого эффекта может осуществляться на эксплуатируемых сегодня серийных электровозах с тиристорными ВИП. В рамках данного решения предлагается шунтировать цепь выпрямленного тока силовой схемы полупроводниковым плечом с функционалом полностью управляемого электронного ключа, что изображено на рис. 2.

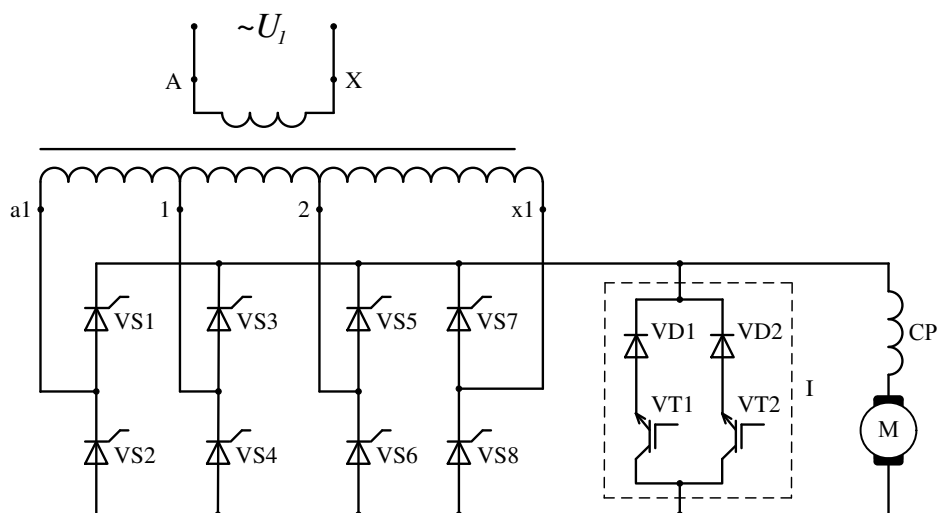


Рис. 2. Принципиальная силовая электрическая схема электровоза:
группа I – шунтирующее цепь выпрямленного тока полупроводниковое плечо

Шунтирующее плечо (группа элементов I) подключается между катодной и анодной шинами преобразователя и собирается из одной или нескольких параллельных ветвей с последовательным включением диодов и IGBT-транзисторов; количество параллельных ветвей и полупроводниковых приборов определяется током тяговых двигателей, обратным и прямым напряжением, приходящимся на плечо, и условиями охлаждения. Так, на представленной на рис. 2 силовой схеме шунтирующее плечо содержит две параллельных ветви с одним диодом и одним IGBT-транзистором в каждой. При этом катоды диодов VD1, VD2 подключаются к катодной шине, а коллекторы IGBT-транзисторов VT1, VT2 – к анодной шине преобразователя.

Управление плечом, осуществляемое подачей управляющих сигналов на базу транзисторов и их включением (выключением) в нужные моменты времени полупериодов напряжения сети, позволяет реализовывать оперативное закрытие отработавших тиристорных плеч ВИП и одновременно обеспечивать перевод накопленной энергии индуктивности цепи выпрямленного тока в нагрузку.

Как и в случае с полностью транзисторным ВИП, данный способ требует переработки алгоритма управления плечами преобразователя. На примере 4-й зоны регулирования электродвижущей силы инвертора в режиме рекуперации этот алгоритм изображен на рис. 3, где представлен в виде диаграмм основных оперирующих токов и напряжений.

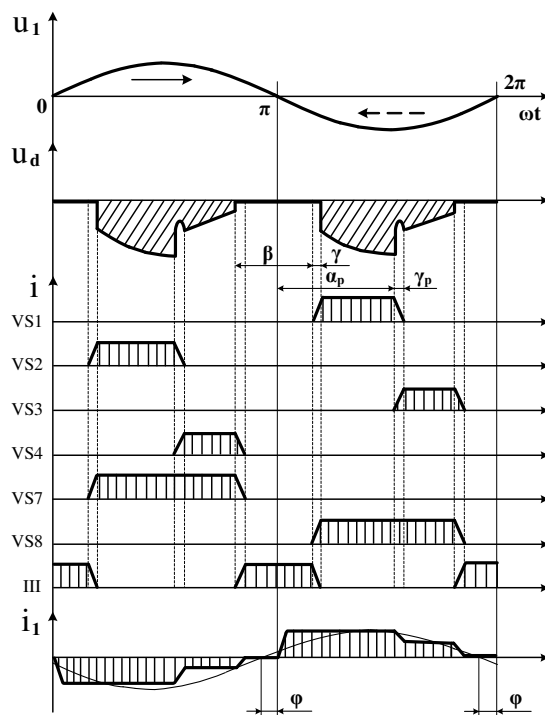


Рис. 3. Диаграммы импульсов напряжений и токов на 4-й зоне регулирования напряжения в режиме рекуперации при использовании шунтирующего плеча

Использование шунтирующего полупроводникового плеча позволяет ускорить и оптимизировать коммутационные процессы в тиристорных плечах ВИП как в режиме тяги, так и в режиме рекуперативного торможения, благодаря чему снизить величину угла сдвига фаз φ между гармониками тока и напряжения в первичной обмотке тягового трансформатора, рис. 3. В результате этого, в свою очередь, уменьшается реактивная составляющая полной энергии переменного тока и возрастает коэффициент мощности электровоза. Результаты математического моделирования свидетельствуют о росте коэффициента мощности при номинальной нагрузке на 4-й зоне в тяге с 0,84 до 0,88, а в рекуперации – с 0,65 до 0,89 и более.

Заключение. В статье были представлены способы управления силовыми ВИП отечественного электроподвижного состава переменного тока на основе использования в силовой схеме полностью управляемых силовых IGBT-транзисторов. Для представленных способов приведены схематические решения, отображены особенности протекания электромагнитных процессов на примере диаграмм импульсов основных токов и напряжений в режиме рекуперативного торможения.

Применение IGBT-транзисторов как в качестве основы элементной базы ВИП, так и в виде отдельного шунтирующего плеча с функционалом полностью управляемого электронного ключа, позволяет благодаря уменьшению продолжительности коммутации плеч и устранению угла сдвига фаз φ между гармониками тока и напряжения добиваться существенного роста коэффициента мощности электроподвижного состава в двух режимах его управления.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года / Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2016 г. № 2537р. – Москва: 2016. – 76 с.
2. Тихменев, Б. Н. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями / Б. Н. Тихменев, В. А. Кучумов. – М.: Транспорт, 1988. – 311 с.
3. Власьевский, С. В. Эффективность и проблемы применения рекуперативного торможения на электровозах переменного тока / С. В. Власьевский, В. В. Кравчук // Вестник ВЭЛНИИ. – 2005. – № 2 (49) – С. 147–158.

4. Мельниченко, О. В. Повышение энергетической эффективности тяговых электроприводов электровозов переменного тока: диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.09.03 / О. В. Мельниченко. – Хабаровск, 2015. – 392 с.

5. Steimel, A.: Power-Electronics Issues of Modern Electric Railway Systems / A. Steimel // 10th Intern. Conf. on Development and Application Systems (DAS), Suceava, Romania. – 2010. – P. 1-8.

6. Яговкин, Д. А. Разработка нового энергосберегающего алгоритма управления ВИП электровоза на IGBT-модулях / Д. А. Яговкин, О. В. Мельниченко, А. Ю. Портной // Вестник института тяги и подвижного состава: Сб. науч. тр.: под ред. А. Е. Стецюка и Ю. А. Гамоли / ДвГУПС. – Хабаровск, 2013. – Вып. 9. – С. 17-24.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Баринов Игорь Александрович

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).
Ул. Чернышевского, д. 15, Иркутск, 664074, Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроподвижной состав» ИрГУПС.
Тел.: +7 914 907-37-20.
E-mail: ib4558@yahoo.com.

Иванов Владислав Сергеевич

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).
Ул. Чернышевского, д. 15, Иркутск, 664074, Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроподвижной состав» ИрГУПС.
Тел.: +7 983 153-10-75.
E-mail: vladislav-sergeevich-irgups@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Barinov Igor Alexandrovich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
15, Chernyshevsky str., 664074, Russian Federation.
Postgraduate student of the Department of «Electric Rolling Stock» ISTU.
Phone: +7 914 907-37-20.
E-mail: ib4558@yahoo.com.

Ivanov Vladislav Sergeevich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
15, Chernyshevsky str., 664074, Russian Federation.
Postgraduate student of the Department of «Electric Rolling Stock» ISTU.
Phone: +7 983 153-10-75.
E-mail: vladislav-sergeevich-irgups@mail.ru.

И. Н. Баянов, К. Х. Турдибеков, Т. Н. Бадретдинов

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашиИТ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ПАРЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

В статье рассматривается процесс дугообразования скользящей пары высокоскоростного подвижного состава, с учетом образования электрической дуги, а также методика расчета электрического поля.

Ключевые слова: Контактная сеть, Высокоскоростной электроподвижной состав, токоприёмник ЭПС, взаимодействие токоприемника и контактной сети, токосъём, электрическая дуга, износ.

Ildar N. Bayanov, Kamalbek Kh. Turdibekov, Timur N. Badretdinov

Tashkent Railway Engineering Institute (TashREI), Tashkent, Republic of Uzbekistan

THE METHOD OF CALCULATION OF THE ELECTRIC FIELD MOVING A PAIR OF HIGH SPEED ELECTRIC ROLLING STOCK WITH CONSIDERATION OF ELECTRIC ARC

The article deals with the process of arcing of a sliding pair of high-speed rolling stock, taking into account the formation of an electric arc, as well as the method of calculating the electric field.

Keywords: Contact lines, high-speed electric rolling stock, pantograph, interaction of current collector and contact lines, current collector, electric arc, wear.

Вольтамперная характеристика электрической дуги при малых токах имеет падающую форму, при этом увеличение тока сопровождается уменьшением напряжения между электродами. При токах больше десятка ампер напряжение на дуге не зависит от тока, а зависит от длины дуги. В этом случае напряжение U_d на дуге определяется [1]

$$U_d = \alpha + \beta l \quad (1)$$

где α и β – постоянные, зависящие от материала электродов, состава газа и условий охлаждения дуги; l – длина дуги.

На рис 1. приводится схема расчета вертикального распределения поля заряда провода контактной сети, - линия ДА₁Г и лыжи токоприемника электровоза – линия БАВ с учетом образования электрической дуги- линия АА₁.

При наличии электрической дуги в воздушном промежутке AA_1 между проводом контактной сети и лыжей токоприемника электровоза для расчета потенциала электрического поля, можно представить их в виде двух взаимно перпендикулярных прямых линий $DA_1\Gamma$ и $BAВ$, расположенных в двух плоскостях, параллельных плоскости xoy .

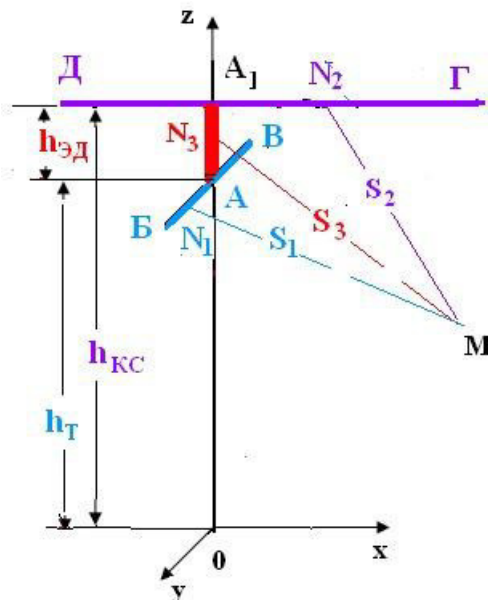


Рис. 1. Схема расчета вертикального распределения

В воздушном зазоре AA_1 между проводом контактной сети $DA_1\Gamma$ и лыжей токоприемника $BAВ$ возгорается электрическая дуга AA_1 , изображенная как вертикальная линия красного цвета. Длина электрической дуги $h_{ЭД}$ равна длине воздушного зазора между проводом контактной сети $DA_1\Gamma$ и лыжей токоприемника $BAВ$.

Соответствующая проводу контактной сети электрической железной дороги фиолетовая линия $DA_1\Gamma$ расположена на высоте $h_{КС}$ от верхней точки заземленного рельса вдоль горизонтальной оси ox .

Лыже токоприемника электровоза соответствует синяя линия $BAВ$, расположенная вдоль оси oy на высоте $h_{ТС}$. Лыжа токоприемника электровоза имеет длину $2R$.

Допустим, что линии $DA_1\Gamma$ и $BAВ$ имеют распределенный электрический заряд положительного знака с линейной плотностью τ . Электрическую дугу представляет собой линия с распределенным электрическим зарядом положительного знака с плотностью $\tau_{ЭД}$.

В пространстве выберем произвольную точку $M(x,y,z)$, в которой определим потенциал электрического поля заряда $\varphi = \varphi_{ТС} + \varphi_{КС} + \varphi_{ЭД}$, где $\varphi_{ТС}$ -

потенциал поля заряда линии БАВ, а φ_{KC} - потенциал поля заряда линии ДА₁Г, и $\varphi_{\dot{A}\dot{A}}$ - потенциал поля заряда линии АА₁. Величина электрического заряда элемента линии ДА₁Г длиной dl_1 будет равна $dl_1 = \tau dx_1$, а элемент линии БАВ $dl_2 = \tau dy_2$, и линии АА₁ $dl_3 = \tau_{\text{ЭД}} dz_3$

Потенциал φ_{TC} в точке $M(x, y, z)$ пространства от заряда в точке $N_I(0, y_1, h_{TC})$ на линии БАВ имеет вид

$$\varphi_{TC} = \int_{-1}^{+1} \frac{\tau R dl_1}{2\pi\epsilon_0 S_1} = C_{TC} \int_{-1}^{+1} \frac{dy_1}{\sqrt{x^2 + (y - y_1)^2 - (z - h_{TC})^2}} \quad (2)$$

где $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ электрическая постоянная; ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды; S_1 - расстояние от произвольной точки $M(x, y, z)$ пространства до точки $N_I(0, y_1, h_{TC})$ на линии БАВ, $C_{TC} = R\tau / (2\pi\epsilon_0 \epsilon U_{KC})$. Напряжение $U_{KC} = 27.5$ кВ.

Потенциал φ_{KC} электрического поля заряда в точке $N_2(x_2, 0, h_{KC})$ линии ДА₁Г в произвольной точке $M(x, y, z)$ пространства определяется общим решением уравнения Пуассона в виде:

$$\varphi_{KC} = \int_{-A}^{+A} \frac{\tau R dl_2}{2\pi\epsilon_0 S_2} = C_{KC} \int_{-A}^{+A} \frac{dx_2}{\sqrt{(x - x_2)^2 + y^2 + (z - h_{KC})^2}}, \quad (3)$$

Потенциал $\varphi_{\text{ЭД}}$ электрического поля заряда в произвольной точке $M(x, y, z)$ пространства определяется общим решением уравнения Пуассона:

$$\varphi_3 = \int_{h_{TC}}^{h_{KC}} \frac{\tau_{\text{ЭД}} R dl_2}{2\pi\epsilon_0 S_3} = C_{\text{ЭД}} \int_{h_{TC}}^{h_{KC}} \frac{dz_3}{\sqrt{x^2 + y^2 + (z - h_{\text{ЭД}})^2}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{ЭД}} = R\tau_{\text{ЭД}} / (2\pi\epsilon_0 \epsilon U_{\text{ЭД}})$.

Интегралы (2), (3) и (4) являются табличными. Получим

$$\varphi_{TC} = C_{TC} \ln \left| \frac{(y+1) + \sqrt{x^2 + (y+1)^2 + (z - h_{TC})^2}}{(y-1) + \sqrt{x^2 + (y-1)^2 + (z - h_{TC})^2}} \right|, \quad (5)$$

$$\varphi_{KC} = C_{KC} \ln \left| \frac{(x+A) + \sqrt{(x-A)^2 + y^2 + (z - h_{KC})^2}}{(x-A) + \sqrt{(x-A)^2 + y^2 + (z - h_{KC})^2}} \right|, \quad (6)$$

$$\varphi_{\text{ЭД}} = C_{\text{ЭД}} \ln \left| \frac{(z+1) + \sqrt{x^2 + y^2 + (z - h_{TC})^2}}{(z-1) + \sqrt{x^2 + y^2 + (z - h_{KC})^2}} \right|. \quad (7)$$

Искомое частное решение уравнения Пуассона получим, если учтем граничные условия задачи: при $z=0$ $\varphi_{TC}=0$ и $\varphi_{KC}=0$, $\varphi_{\text{ЭД}}=0$

$$\varphi_{TC} = C_{TC} \ln \left[\frac{(y+1) + \sqrt{x^2 + (y+1)^2 + (z-h_{TC})^2}}{(y-1) + \sqrt{x^2 + (y-1)^2 + (z-h_{TC})^2}} \cdot \frac{(y+1) + \sqrt{x^2 + (y+1)^2 + h_{TC}^2}}{(y-1) + \sqrt{x^2 + (y-1)^2 + h_{TC}^2}} \right], \quad (8)$$

$$\varphi_{KC} = C_{KC} \ln \left| \frac{(x+A) + \sqrt{(x+A)^2 + y^2 + (z-h_{KC})^2}}{(x-A) + \sqrt{(x-A)^2 + y^2 + (z-h_{KC})^2}} \cdot \frac{(x+A) + \sqrt{(x+A)^2 + y^2 + h_{KC}^2}}{(x-A) + \sqrt{(x-A)^2 + y^2 + h_{KC}^2}} \right|, \quad (9)$$

$$\varphi_{ЭД} = C_{ЭД} \ln \left[\frac{(z+a) + \sqrt{x^2 + y^2 + (z-h_{TC})^2}}{(z-b) + \sqrt{x^2 + y^2 + (z-h_{KC})^2}} \cdot \frac{a + \sqrt{x^2 + y^2 + h_{TC}^2}}{-b + \sqrt{x^2 + (y-1)^2 + h_{KC}^2}} \right]. \quad (10)$$

Численный расчет потенциала φ электрического поля для заряда провода контактной сети и токоприемника электровоза проводилось в программе Mathcad при: $A=5$; $h_{TC}=5,9$; $h_{KC}=6,0$ $h_{ЭД}=0,1$.

Рассчитанные кривые распределения потенциалов φ_{TC} и φ_{KC} электрического поля заряда при наличии электрической дуги построены в программе Mathcad из уравнения Пуассона и показаны на рис.2.

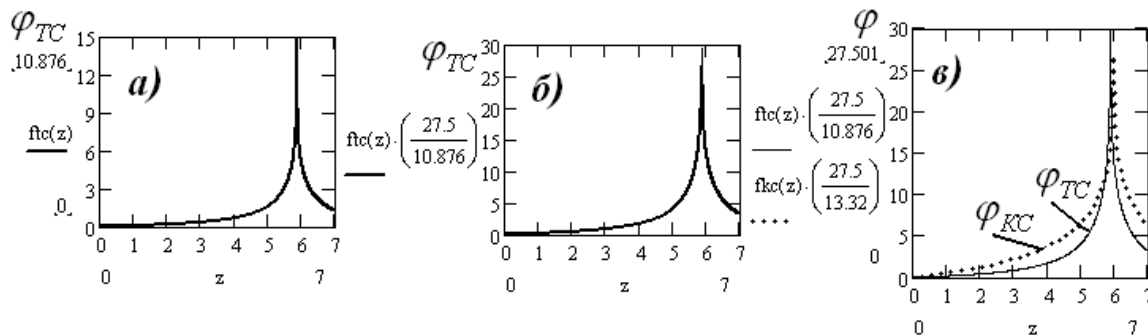


Рис. 2 Кривые распределения потенциалов

Таким образом, создана методика расчета пространственного распределения потенциала и напряженности электрического поля скользящей контактной пары, состоящего из провода контактной сети, лыжи токосъема электровоза и электрической дуги между ними. Методика основана на полученном аналитическом решении уравнения Пуассона в интегральной форме.

Появление электрической дуги практически не оказывает влияние на распределение потенциала электрического поля заряда скользящего контакта. Однако появление электрической дуги приводит к ускоренному изнашиванию

медного контактного провода и графитовых накладок токоприемника электровоза, а также экологическим проблемам, связанным с генерированием электромагнитного излучения электрической дугой.

Список литературы

1. Беляев, И.А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети / И. А. Беляев, В. А. Вологин. – М.: Транспорт 2006. – 256с.
2. Беляев, И. А. Токоєм и токоприемники электроподвижного состава / И. А. Беляев, В. П. Михеев, В. А. Шиян. – М.: Транспорт, 1976.
3. Михеев, В. П. Контактные сети и линиии электропередач: Учебник. – Маршрут, 2003. – 416 с.
4. Баянов, И.Н. Контакт тармоги /И. Н. Баянов. – Ташкент, Fan va technologiya, 2010.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Баянов Ильдар Назипович

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Адылходжаева, 1100067, Ташкент,
Узбекистан.
Старший преподаватель кафедры
«Электроснабжение железнодорожного
транспорта» ТашИИТ.
Тел.: +998712990444
E-mail:ildar-lili@yandex.ru

Турдибеков Камалбек Хамитович

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ)
ул. Адылходжаев д.1 г. Ташкент, Республика
Узбекистан.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроснабжение железнодорожного
транспорта» ТашИИТ.
Тел.: +998712990444

Бадретдинов Тимур Наильевич

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ)
ул. Адылходжаев д.1 г. Ташкент, Республика
Узбекистан.
Ассистент кафедры «Электроснабжение
железнодорожного транспорта» ТашИИТ.
Тел.: +998977682190
E-mail: tim_bad2107@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bayanov Ildar Nazipovich

Tashkent Railway Engineering Institute
(TashREI).
Odilhodjaeva st., 1100067, Tashkent,
Republic of Uzbekistan.
Senior lecturer of the Department «Power supply
of railway transport» (TashREI).
Phone: + 998712990444
E-mail:ildar-lili@yandex.ru

Turdibekov Kamalbek Khamitovich Tashkent Railway Engineering Institute (TashREI)

St. Odilhodjaeva, 1100067, Tashkent,
Republic of Uzbekistan.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor of the department «Power supply of
railway transport» (TashREI).
Phone: + 998712990444

Badretdinov Timur Nailevich

Tashkent Railway Engineering Institute
(TashREI)
St. Odilhodjaeva, 1100067, Tashkent,
Republic of Uzbekistan.
Assistant of the Department «Power supply of
railway transport» (TashREI).
Phone: +998977682190
E-mail: tim_bad2107@mail.ru

Е. Ю. Дульский, И. О. Лобыцин, А. М. Худоногов

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС),
г. Иркутск, Российская Федерация

ТЕРМОРАДИАЦИОННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ

В статье рассмотрена терморadiaционная технология восстановления изоляции малогабаритных элементов электродвигателей с применением инфракрасного некогерентного излучения. В качестве объекта исследования был выбран изоляционный палец кронштейна щёткодержателя тягового электродвигателя, являющийся как изоляционным элементом, так и элементом крепления щёточного аппарата. Представлена лабораторная установка, осуществляющая терморadiaционную сушку электроизоляционного лака, равномерно вращающего пальца с контролем и регулировкой основных параметров процесса сушки. Определены наиболее оптимальные параметры восстановления изоляционных пальцев, позволяющие получить малогабаритные детали высокого качества.

Ключевые слова: терморadiaционная сушка, изоляционный палец, тяговый электродвигатель, изоляция, малогабаритные элементы.

Evgeny Yu. Dulskiy, Igor O. Lobytsin, Anatoliy M. Khudonogov

Irkutsk State Transport University (ISTU), Irkutsk, the Russian Federation

THERMAL-RADIATION RESTORATION OF SMALL-SIZED INSULATING ELEMENTS OF LOCOMOTIVES ELECTRIC MOTORS

The article describes the thermoradiation technology of restoring the insulation of small-sized elements of electric motors using infrared non-coherent radiation. The insulating finger of the bracket of the brush holder of the traction motor, which is both the insulating element and the fixing element of the brush apparatus, was chosen as the object of study. A laboratory installation is presented that carries out thermo-radiation drying of an electrical insulating varnish that rotates a finger evenly with control and adjustment of the main parameters of the drying process. The most optimal parameters for the restoration of the insulating fingers have been determined, which make it possible to obtain high-quality, compact parts.

Keywords: thermoradiation drying, insulating finger, traction electric motor, insulation, small-sized elements.

На протяжении нескольких предшествующих десятилетий тяговое электромашиностроение развивалось в направлении увеличения нагрузок активных материалов и снижения массы на единицу мощности, однако запас прочности и устойчивость к перегрузкам постепенно снижались. В результате наметилась тенденция общего снижения надежности электрических машин тягового подвижного состава [1].

Процессы развития научно-технического прогресса являются решающим фактором повышения эффективности железнодорожного транспорта. С изменяющимися объемами перевозок, резко обострились проблемы эксплуатационных расходов, приводящие к уменьшению затрат на внеплановые ремонты тягового подвижного состава. Этот фактор позволил определить одну из важнейших проблем железнодорожного транспорта, которой является необходимость обеспечения надежной и безопасной работы тягового подвижного состава [2].

Согласно статистическим данным, обработанным за сравнительно долгое время, двигатели являются самой нагруженной частью электровоза. Отказы тяговых электродвигателей (ТЭД) происходят как из-за условий эксплуатации, так и из-за качества ремонта. Пробои изоляции и межвитковые замыкания обмоток электромагнитной системы коллекторных тяговых электродвигателей на прямую коррелируют с условиями коммутационных процессов и, наоборот, на основании единства электромагнитной системы, состояние изоляционных конструкций обмоток якоря и магнитной системы напрямую оказывают влияние на оптимизацию коммутационного процесса [3].

В принципе конструкция тягового коллекторного двигателя состоит из двух частей: остова и якоря. Однако связь магнитной системы с коллектором якоря осуществляется через щеточный аппарат, который условно разделяет границу магнитной системы и обмотку якоря через коллекторно-щеточный узел. На рис. 1 представлена схема соединения полюсных катушек ТЭД.

При работе тяговых электродвигателей электровоза происходят износ их деталей, загрязнение, потеря диэлектрических и механических свойств изоляции. Для обеспечения устойчивой работы двигателей требуется регулярный уход и наблюдение за их работой, своевременная замена отдельных деталей, проведение профилактических мероприятий.

Для увеличения надежности и качества ремонта электрических машин сотрудниками кафедры «Электроподвижной состав» Иркутского государственного университета путей сообщения была разработана, доказана и испытана технология восстановления изоляционной лаковой пленки инфракрасным излучением (ИК). Способ сушки ИК нагревом представляется более эффективным и менее затратным по сравнению с используемым на сегодня конвективным методом, при этом имеет большую плотность теплового потока, благодаря чему качество ремонта увеличивается в разы [4].

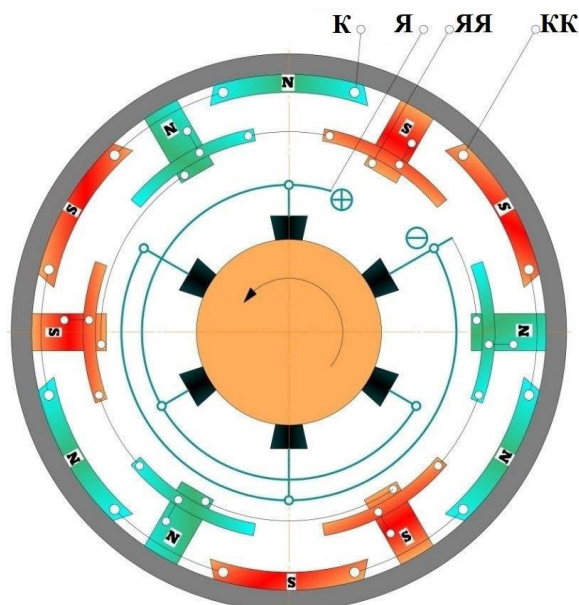


Рис. 1. Схема соединения полюсных катушек ТЭД

К - первый вывод обмотки возбуждения; Я - первый вывод обмотки якоря; ЯЯ – второй вывод обмотки якоря; КК – второй вывод обмотки возбуждения.

Механизм распределения температуры при различных методах энергоподвода представлен на рис.2.

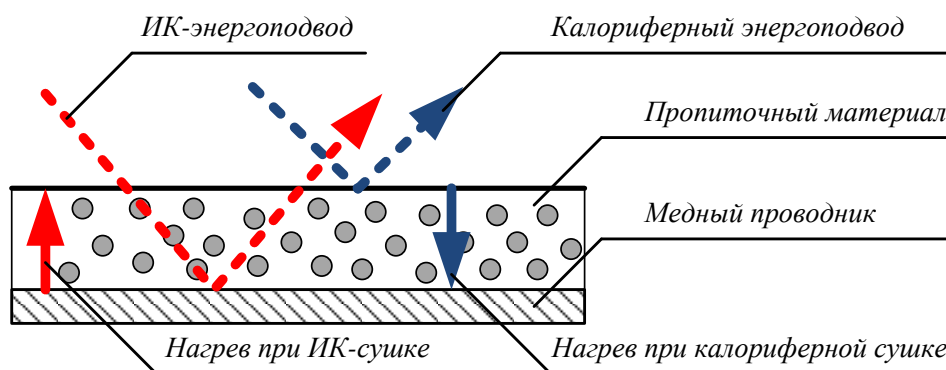


Рис. 2. Механизм процесса распределения температуры по толщине слоя пропиточного материала при различных методах энергоподвода

При ИК-энергоподводе используется принципиально иной вид нагрева, основывающийся на поглощении изоляционными материалами энергии субинфракрасного и инфракрасного излучения. Преобразование энергии излучения в тепловую происходит в некотором слое изоляции, глубина которого определяется длиной волны и оптическими свойствами изоляционных материалов. Тепловые лучи (ИК-лучи), в основном коротко- и средневолновые с длиной волны 0,8-5,0 мкм, проходят расстояние от источника излучения до облучаемой поверхности почти без потерь (коэффициенты отражения и поглощения), а основные диффузионные процессы имеют оптимальное направление. Нагретые основным потоком инфракрасных лучей металлические части, в свою очередь, нагревают лакокрасочный материал снизу, способствуя передаче тепла от нижних слоев изоляции к верхним, и ускоряя удаление растворителя, тем самым значительно сокращая процесс сушки [5]. Помимо этого, терморadiационная сушка характеризуется значительным сокращением времени на этапе предварительного нагрева до заданной температуры и равномерностью в ее распределении.

Применение терморadiационного восстановления позволяет качественно восстанавливать изоляцию малогабаритных деталей электродвигателей тягового подвижного состава. В качестве объекта исследования предлагаемой технологии была выбран изоляционный палец кронштейна щёткодержателя, представленный на рис.3. Изоляционные пальцы представляют собой стальные шпильки, опрессованные прессматериалом марки АГ - 4В и покрываемые электроизоляционным лаком.

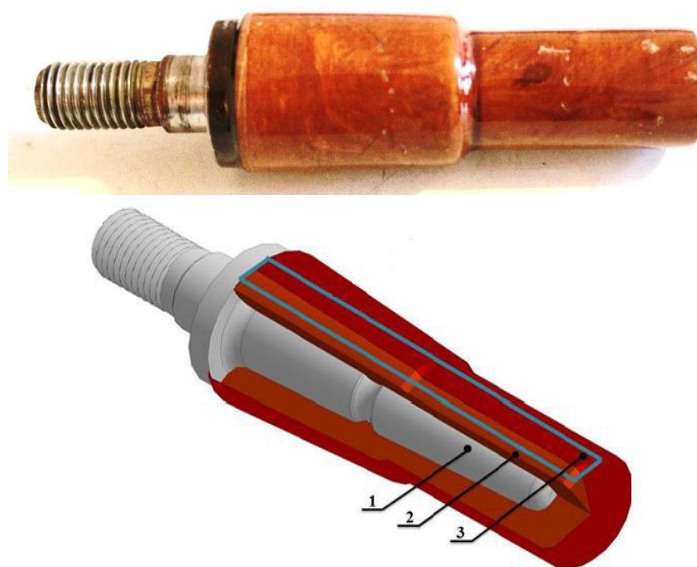


Рис. 3. Изоляционный палец кронштейна щёткодержателя:
1 – стальная шпилька; 2 – прессматериал; 3 – электроизоляционный лак

Для реализации предлагаемого метода восстановления изоляционных пальцев была сконструирована лабораторная установка. Предлагаемое изобретение имеет разделение на две части:

- левая секция, закрыта и размещает в себе двигатель с червячным редуктором, лампы индикации, аппараты управления защиты;
- правая секция - исполняющий орган, выполняет непосредственно процесс сушки изоляционных пальцев.

Общий вид лабораторной установки изображен на рис. 4.



Рис. 4. Общий вид лабораторной установки для восстановления лаковой пленки изоляционного пальца

Лабораторная установка позволяет осуществлять нагрев равномерно вращающегося изоляционного пальца с контролем параметров частоты вращения, температуры поверхности и расстояния между боковой поверхностью пальца и ИК-излучателем. Кроме контроля так же имеется возможность регулировки основных параметров для определения оптимального режима сушки. Регулировка вращения изоляционного пальца осуществляется при помощи преобразователя частоты, изменяющего частоту питающей сети. Корректировка высоты между объектом исследования и ИК-излучателем выполняется регулировочными винтами, вертикально перемещающими от боковой поверхности пальца в диапазоне 10...110 мм. Ключевым параметром

является температура боковой поверхности изоляционного пальца, которая в свою очередь зависит от температуры на поверхности ИК-излучателя, корректируемой регулятором мощности, установленным в цепь питания керамического излучателя.

После проведения ряда экспериментальных исследований по определению наиболее рационального режима сушки изоляционных пальцев кронштейнов щёткодержателей ТЭД локомотивов с изменением основных параметров был выбран наиболее подходящий, при котором:

- 1) вращение изоляционного пальца – 3 об/мин;
- 2) расстояние между излучателем и боковой поверхностью – 50 мм;
- 3) время предварительного прогрева объекта при 70...90°C – 4 мин;
- 4) время сушки электроизоляционного лака при 120...140°C – 20 мин.

Изоляционные пальцы кронштейнов щёткодержателей, восстановленные терморadiационным воздействием, представлены на рис.5.

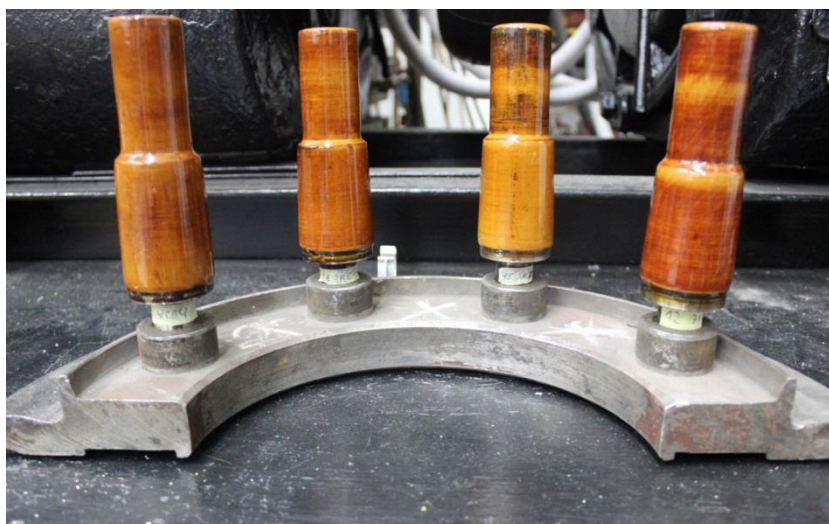


Рис. 5. Изоляционные пальцы кронштейнов щёткодержателей, восстановленные терморadiационным воздействием

При сушке ИК-излучением повышается качество полимерной изоляции по показателям пробивного напряжения на 40 %, что является результатом отсутствия микротрещин на поверхности и, как следствие, что в целом исключит заходы локомотивов на неплановый ремонт из-за пробоев изоляционных пальцев, способствующих отключению главного выключателя во время эксплуатации, так же значительно снизится необходимость смены

пальцев при перекрытии электрической дугой по коллектору ТЭД, что в свою очередь уменьшит время нахождения электровоза на внеплановом ремонте [6].

Предлагаемая принципиально новая технология терморadiационного восстановления малогабаритных изоляционных элементов тяговых электродвигателей локомотивов на примере изоляционных пальцев кронштейнов щёткодержателей, позволяет сделать рывок в улучшении ремонтного процесса локомотивов, с получением высококачественного продукта.

Список литературы

1. Дульский, Е. Ю. Совершенствование технологии восстановления пальцев щеткодержателей электрических машин тягового подвижного состава. // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы шестой международной научнопрактической конференции 2016 г. [Текст] / Иркутск: в 2 т. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2016. – 760 с.
2. Дульский, Е. Ю. Моделирование режимов ИК-энергоподвода в технологии продления ресурса тяговых электрических машин с использованием метода конечных элементов // Вестник ИрГТУ. – 2013. – №12. – С. 258 – 263.
3. Лобыцин, И. О. Повышение надёжности изоляционных пальцев кронштейнов щёткодержателей электрических машин тягового подвижного состава [Текст] / И.О. Лобыцин, Е.Ю. Дульский, А.А. Васильев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – №4 (56). – С 218 – 224.
4. Зональное распределение эксплуатационных особенностей электровозов на восточном полигоне [Текст] / И. О. Лобыцин, М. Ю. Хажеева и др. // Наука и молодежь: Сборник трудов Четвертой Всероссийскойнаучно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (апрель – май 2018 г.). – Иркутск: ИрГУПС, 2018. – С 118 – 123.
5. Худоногов, А. М. Разработка и исследование установки для сушки изоляционных пальцев кронштейнов щеткодержателей [Текст] / И. О. Лобыцин, Е. Ю. Дульский, А. В. Тюменцев // Наука и молодежь: Сборник трудов Четвертой Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Иркутск: ИрГУПС, 2018. – С. 123 – 127.
6. Анализ конструктивных особенностей элементов электромагнитной системы тяговых электродвигателей локомотивов [Текст] / А. М. Худоногов, Е. Ю. Дульский и др. // Транспортная инфраструктура Сибирского региона:

Материалы девятой международной научно-практической конференции 10 – 13 апреля 2018 г. Иркутск: В 1 т. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2018. – Т.2.– С. 351 – 355.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лобыцин Игорь Олегович

Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС).
Чернышевского 15, г. Иркутск 664074,
Российская Федерация.
аспирант кафедры «Электроподвижной
состав» ИрГУПС.
Тел.: +7 (950) 066-11-87
E-mail: lobycin@mail.ru

Дульский Евгений Юрьевич

Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС).
Чернышевского 15, г. Иркутск 664074,
Российская Федерация.
к.т.н., доцент, доцент кафедры
«Электроподвижной состав» ИрГУПС.
Тел.: +7 (983) 403-46-43
E-mail: E.Dulskiy@mail.ru

Худоногов Анатолий Михайлович

Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС).
Чернышевского 15, г. Иркутск 664074,
Российская Федерация.
д.т.н., профессор, профессор кафедры
«Электроподвижной состав», ИрГУПС.
Тел.: +7 (914) 881-46-75
E-mail: a.hudonogov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lobytsin Igor Olegovich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
Chernyshevskogo 15, Irkutsk 664074,
Russian Federation.
Ph.D. student the Subdepartment of «Electric
Stock».
Phone.: +7 (950) 066-11-87
E-mail: lobycin@mail.ru

Dulsky Evgeny Yurievich

Irkutsk State Transport University (ISTU),
Chernyshevskogo 15, Irkutsk 664074,
Russian Federation.
Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., the
Subdepartment of «Electric Stock».
Phone.: +7 (983) 403-46-43
E-mail: E.Dulskiy@mail.ru

Khudonogov Anatoly Mikhailovich

Irkutsk State Transport University (ISTU).
Chernyshevskogo 15, Irkutsk 664074, Russian
Federation.
Doctor of Technical Sciences, Professor the
Subdepartment of «Electric Stock».
Phone.: +7 (914) 881-46-75
E-mail: a.hudonogov@yandex.ru

Ш. И. Кудратов

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Учет реального технического состояния оборудования локомотива при планировании объемов его ремонта является одним из важнейших резервов сокращения эксплуатационных расходов железных дорог и снижения себестоимости перевозок. Непрерывный контроль технического состояния локомотива в эксплуатации осуществляется с использованием стационарных и бортовых средств технической диагностики. Повышение эксплуатационной экономичности и надежности тепловозов требует непрерывного контроля технического состояния их оборудования в процессе эксплуатации. Для непрерывного контроля величины коэффициента избытка воздуха в цилиндре дизеля может использоваться широкополосный датчик содержания кислорода в отработавших газах, широко применяющийся в системах управления автомобильных дизелей. Он предназначен для косвенной оценки состава смеси, сгорающей в цилиндрах двигателя, по содержанию кислорода в отработавших газах.

Ключевые слова: Датчик содержания кислорода, коэффициент избытка воздуха, топливная аппаратура, цилиндро-поршневая группа.

Shohizhakhon I. Kudratov

Tashkent Institute of Railway Engineers (TashIIT), Tashkent, Republic of Uzbekistan

**PERFECTION OF THE LOCOMOTIVE DIESEL ENGINE ON-BOARD
MONITORING SYSTEM**

The account of a real technical condition of the equipment of the locomotive at planning of volumes of its repair is one of the major reserves of reduction of working costs of railways and decrease in the cost price of transportations. The continuous control of a technical condition of the locomotive in operation is carried out with use of stationary and onboard means of technical diagnostics. The increasing of operational profitability and reliability of diesel locomotives demands continuous control for a technical condition of their equipment in the service. The wide-band exhaust gases oxygen content sensor can be used for continuous monitoring of the air excess coefficient in the locomotive diesel engine cylinders. This type sensors are widely used in automotive diesel engines control systems. It means for indirect estimation of the engine cylinders mixture quality by the exhaust gases oxygen content.

Keywords: Oxygen sensor, air ratio, fuel injection equipment, the cylinder-piston group.

Коэффициент избытка воздуха является одним из основных параметров рабочего процесса двигателя внутреннего сгорания, во многом определяющим показатели его надежности и экономичности в эксплуатации.

С величиной коэффициента избытка воздуха непосредственно связаны значения целого ряда других показателей рабочего процесса двигателя, прежде всего температуры отработавших газов (ОГ). Соответствие относительных изменений значений коэффициента избытка воздуха и температуры отработавших газов является диагностическим параметром, характеризующим техническое состояние цилиндров двигателя [1, 4].

В автомобильных двигателях текущее значение коэффициента избытка воздуха используется для оптимизации как установившихся, так и переходных режимов работы двигателя с целью, во-первых, уменьшения расхода топлива, а во-вторых – с целью увеличения ресурса работы каталитических нейтрализаторов отработавших газов. При этом непрерывный контроль текущего значения коэффициента избытка воздуха (в зарубежной литературе он обозначается греческой буквой λ) осуществляется с помощью датчика содержания кислорода в отработавших газах (т.н. λ -зонда).

В дизелях средней и большой мощности (тепловозных и судовых) такие датчики пока находят ограниченное применение, в основном для улучшения экологических показателей двигателей [2, 3].

Непрерывное увеличение уровня форсирования дизелей современных тепловозов при одновременном ужесточении требований к их экологическим показателям обуславливает необходимость повышения качества управления силовой установкой тепловоза в переходных режимах работы. Использование величины коэффициента избытка воздуха в качестве интегрального показателя текущего качества рабочего процесса в цилиндрах дизеля является существенным резервом повышения качества переходных процессов дизеля [6].

Основным элементом устройства является датчик содержания кислорода в отработавших газах (ОГ) дизеля. В бензиновых двигателях чаще используются т.н. узкополосный датчик, который является эффективным детектором стехиометрического состава смеси, позволяющим современным системам управления автомобильными двигателями поддерживать значение коэффициента избытка воздуха $\alpha_y = 1$ с точностью $\pm 1\%$. Этим достигается как высокая топливная экономичность двигателя, так и увеличение ресурса работы каталитических нейтрализаторов [7].

Однако использовать его для контроля значения коэффициента избытка воздуха в бедных смесях ($\alpha_{\text{ц}} > 1$) практически невозможно. Для этих целей применяются т.н. широкополосные датчики содержания кислорода в ОГ.

Широкополосные датчики имеют две ячейки - измерительную и ячейку накачки. Ячейка накачки представляет собой гальванический элемент с твердым керамическим циркониевым электролитом, оба электрода которого омываются отработавшими газами. Внешний электрод погружен в поток ОГ выпускного коллектора, к внутреннему электроду ОГ подводятся через специальное отверстие (диффузионный барьер) в твердом электролите. Прикладывая напряжение к электродам ячейки накачки (входы I_P и V_S/I_P), можно управлять переносом ионов кислорода между электродами ячейки.

При положительном потенциале входа I_P относительно входа V_S/I_P перенос кислорода будет осуществляться от внутреннего электрода ячейки накачки к внешнему, при отрицательном потенциале I_P - в противоположном направлении. Изменяя величину тока I_P (напряжение между электродами ячейки накачки), можно добиться удаления из ячейки всего кислорода. Необходимая для этого величина тока I_P будет зависеть от содержания кислорода в ОГ. Таким образом, постоянно поддерживая в ячейке накачки нулевое содержание ионов кислорода, можно по величине необходимого для этого тока I_P оценивать содержание кислорода в ОГ [5].

При наличии избыточного давления измеряемой среды (отработавших газов) результат измерения должен корректироваться. Коррекция осуществляется приведением реального значения тока накачки I_P к нормальным условиям с использованием следующей зависимости:

$$I_P(P_O) = \frac{I_P(P)}{\frac{P}{k+P} \cdot \frac{k+P_O}{P_O}}, \quad \dots \quad (1)$$

где $I_P(P_O)$ - эквивалентное значение тока накачки для нормальных условий ($P_O = 1,013$ бар), мА;

P - действительное значение тока накачки для избыточного давления, мА;

k - поправочный коэффициент, для $\alpha_{\text{ц}} > 1$ $k = 0,47$ бар.

Основная абсолютная погрешность измерения коэффициента избытка воздуха при $\alpha_{\text{ц}} = 1.7$ по данным фирмы – изготовителя для температуры измеряемой среды 20°C, температуры керамической основы датчика 750°C и нулевого избыточного давления измеряемой среды [7].

Для других значений коэффициента избытка воздуха основная абсолютная погрешность измерения может оцениваться по формуле:

$$\Delta\alpha_{\text{ц}} = \frac{1}{\alpha_{\text{ц}} - 1.7} \cdot \frac{\Delta I_p}{I_p}, \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{ц}}$ – текущее среднее измеренное значение коэффициента избытка воздуха;

I_p – текущее среднее значение тока накачки, мА;

ΔI_p – среднеквадратическое отклонение тока накачки, мА.

Температура отработавших газов (ОГ) на выходе из цилиндров дизеля является одним из важнейших диагностических параметров дизеля. Ее значение в каждый момент времени обусловлено действием целого ряда разнообразных факторов, связанных как с техническим состоянием основных агрегатов двигателя, так и с режимом его работы. С целью повышения достоверности оперативного контроля технического состояния дизеля уже на протяжении ряда лет все современные тепловозных дизели оборудуются термокомплектами, обеспечивающими возможность непрерывного измерения температуры отработавших газов в процессе эксплуатации. Вместе с тем наличие множества факторов, влияющих на величину температуры ОГ, снижает информативность данного параметра, вследствие чего эффективность использования средств контроля температуры ОГ весьма невелика.

Одним из возможных способов повышения информативности температуры ОГ является совместное использование её с коэффициентом избытка воздуха, характеризующим как качество смесеобразования в цилиндре дизеля, так и режим его работы. Для этого необходимо непрерывно контролировать характерные зависимости, связывающие различные параметры рабочего процесса дизеля, инвариантные по отношению к режиму работы дизеля, но реагирующие на изменение его технического состояния. Одной из них является зависимость относительного изменения $\overline{\Delta T_{\text{ОГ}}}$ температуры отработавших газов от относительного изменения $\overline{\Delta \alpha}$ коэффициента избытка воздуха в цилиндре дизеля.

Для непрерывного контроля величины коэффициента избытка воздуха может использоваться датчик содержания кислорода в ОГ (лямбда-зонд), широко применяющийся в системах управления автомобильных дизелей. Он предназначен для косвенной оценки состава смеси, сгорающей в цилиндрах двигателя. Датчик позволяет оценивать количество кислорода в отработавших газах.

Процесс измерения коэффициента избытка воздуха широкополосным датчиком кислорода предполагает стабилизацию напряжения U_s на соответствующем выходе датчика за счет изменения тока I_p и контроль

величины тока. Таким образом, схема управления датчиком должна представляет собой регулятор напряжения U_s , управляющим воздействием которого является ток накачки I_p .

Учитывая существенную зависимость результатов измерения коэффициента избытка воздуха от давления измеряемой среды (т.е. давления ОГ), оптимальным решением представляется установка датчика на выпускную трубу тепловоза. В этом случае статическое давление ОГ может быть принято равным атмосферному, а поправка должна учитывать только скоростной напор ОГ на выходе из трубы, который относительно невелик.

Кроме того, существенно уменьшается вероятность превышения предельной температуры датчика даже при использовании его на высокофорсированных дизелях. Питание цепи нагревателя датчика осуществлялось непосредственно от банок аккумуляторной батареи суммарным напряжением 13,6 В при запущенном дизеле и включенном контакторе КРН.

В процессе лабораторных испытаний устройства были определены коэффициенты K , K_d и K_i ПИД-регулятора при работе датчика на чистом воздухе.

Стендовые испытания устройства для контроля величины коэффициента избытка воздуха тепловозного дизеля выполнялись на тепловозе UzTE16M №0035 сек. А в режиме нагружения дизель-генераторной установки на тормозные резисторы тепловоза.

Параметры режима работы дизель-генераторной установки в процессе испытаний определялись по данным бортового накопителя тепловоза. Синхронизация данных по времени осуществлялась посредством ручной установки одинакового времени на компьютере пультного устройства индикации тепловоза, осуществляющего накопление данных, и на компьютере устройства с точностью до $\pm 0,5$ сек.

В процессе испытаний выполнялись несколько наборов позиций контроллера машиниста (до 10-й) с выдержкой времени на каждой позиции, необходимого для достижения установившегося режима работы дизель-генератора.

Результаты работы, приведенные в статье, свидетельствуют о работоспособности разработанного макетного образца устройства для контроля коэффициента избытка воздуха тепловозного дизеля. Данное устройство может эффективно использоваться как для управления дизель-генераторной установкой тепловоза в переходных режимах работы, так и для контроля технического состояния дизеля в бортовых и стационарных средствах диагностики.

Список литературы

1. Валиев, М. Ш. Применение датчика содержания кислорода для контроля величины коэффициента избытка воздуха тепловозного дизеля / М. Ш. Валиев // Известия Транссиба. – 2017. – №2 (30). – С.9-17.
2. Валиев, М. Ш. Применение датчика для контроля качества рабочего процесса тепловозного дизеля/ М. Ш. Валиев // Локомотивы. Газомоторное топливо (Проблемы. Решения. Перспективы): Материалы I Международной научно-практической конференции, 2016. – С.69 – 73.
3. Валиев, М. Ш. Оценка технического состояния тепловозного дизля в эксплуатации. / М. Ш.Валиев, Ш. С.Файзыбаев. – Будущее машиностроения России: Сборник докладов Восьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов, 2015. – С.796 – 798.
4. Валиев, М. Ш. Диагностика рабочего процесса тепловозного дизеля в условиях эксплуатации / М. Ш.Валиев // Вестник Транспорта Поволжья.– 2011.– №1(25). – С.35 – 39.
5. Грачев, В. В. Оценка технического состояния тепловозного дизеля по данным бортовой микропроцессорной системы управления / В. В. Грачев, М. Ш. Валиев // Известия ПГУПС / Петербургский государственный университет путей сообщения. – Санкт-Петербург. – 2010. – №1(22). – С. 22 – 32.
6. Грачев, В. В. Оценка технического состояния цилиндров дизеля с использованием датчика содержания кислорода в отработавших газах / В. В. Грачев, М. Ш. Валиев // Известия ПГУПС / Петербургский государственный университет путей сообщения. – Санкт-Петербург. – 2011. – №2(27). – С. 25 – 32.
7. Грачев, В. В. Устройство для контроля величины коэффициента избытка воздуха тепловозного дизеля / В. В. Грачев, Ф. Ю. Базилевский, М. Ш. Валиев // Известия ПГУПС / Петербургский государственный университет путей сообщения. – Санкт-Петербург. – 2011. – №3(28). – С. 153 – 161.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кудратов Шохижохон Ихтиёрович
Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Адылходжаева д.1., г. Ташкент,
Республика Узбекистан.
Студент Электромеханического факультета
ТашИИТ.
Тел. +998(90)788-85-83
E-mail: valiev.m.sh@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kudratov Shohizhakhon Ihtiyorovich
Tashkent Institute of Railway Transport
Engineers (TashIIT).
Adylkhodzhaeva st. d.1., Tashkent, the Republic
of Uzbekistan.
Student of the Electromechanical faculty
TashIIT.
Phone. +998(90)788-85-83
E-mail: valiev.m.sh@gmail.com

А.П. Шатохин, Р.М. Максименко

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

АВТОВЕДЕНИЕ ПОЕЗДОВ – ПУТЬ К ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

В статье рассмотрены бортовые системы автоведения подвижного состава. Показан путь развития системы автомашины с 70 годов XX века до наших дней, обозначены основные принципы и концепции автоведения поездов, рассмотрены функциональные схемы. Сделан вывод о энергоэффективности от применения системы автомашины.

Ключевые слова: Железная дорога, Автоведение, Автомашина, Энергоэффективность.

Andrei P. Shatokhin, Roman M. Maksimenko

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

AUTOMATIC TRAIN MANAGEMENT - WAY OF ENERGY EFFICIENCY

The article discusses the onboard systems of automatic control of rolling stock. The path of development of the "avtomashinist" system from the 70s of the 20th century to the present day is shown, the basic principles and concepts of the automatic control of trains are indicated, and functional diagrams are considered. The conclusion is made about the energy efficiency of the use of the "avtomashinist" system.

Keywords: Railway, Automatic train control, Automatic train driver, Energy efficiency.

Системы автоматизированного ведения поезда, служат для управления подвижным составом, реализовывают все режимы его движения: пуск и разгон, выбор и поддержание оптимальной скорости, выбег, торможение с целью выполнения скоростных ограничений, прицельное остановочное торможение на станции, а также реакцию на запрещающие и ограничивающие сигналы светофоров [1–6].

Применение систем автоматизированного ведения поезда на железной дороге позволяет: обеспечить снижение расхода электроэнергии и топливных ресурсов, повысить безопасность движения посредством уменьшения ошибок и рисков, связанных с человеческим фактором, снизить износ подвижного состава благодаря применению оптимальных режимов ведения поезда. При этом, контроль за осуществлением ведения поезда остается за машинистом,

который имеет возможность в любой момент отключить автоведение и перейти к режиму ручного управления. В конечном итоге повышается пропускная способность железных дорог и интенсивность движения. Внедрение вместе с системами автоведения регистраторов параметров движения и использование в депо автоматизированных рабочих мест для расшифровки регистрируемых параметров позволяет повысить уровень контроля за эксплуатацией подвижного состава и учета расхода топливно-энергетических ресурсов.

Первый этап развития системы "автомашинист" был связан с созданием собственно программных устройств для автоматического вождения поездов в 70–80-х годах XX века. Особенности их построения являлось следующее:

1) электроподвижной состав того времени преимущественно имел ступенчатое регулирование силы тяги с применением релейно-контакторной аппаратуры;

2) существующая на тот момент элементная база не позволяла реализовать на борту в режиме реального времени сколько-нибудь сложные алгоритмы управления.

Поэтому создаваемые ранее системы были собственно программными, когда автоматизированное ведение поезда осуществлялось по заранее рассчитанным в лабораторных условиях программам движения, заносимым в бортовую память. По числу таких программ они подразделялись на одно-, двух- и трехпрограммные [1].

Основной программой являлась зависимость времени хода от пути $t_n(s)$, а главной функцией устройства автоведения – корректировка режимов ведения поезда с учетом отклонения фактического времени хода от программного, что выражалось в выборе номера позиции управления тягой, переходе на выбег или включении тормозов. Для улучшения качества управления, помимо указанных зависимостей вводились дополнительные программы: $N(s)$ и $v(s)$ – программные позиция и скорость, а также программа скорректированных позиций $N_k(s)$ для компенсации опоздания поезда, рассчитываемая предварительно как рациональная по энергопотреблению. Этот подход был реализован в трехпрограммной системе САПВ1 Московского института инженеров транспорта (МИИТ) для пассажирского поезда с электровозом серии ЧС2 [7], в которую также были введены программа допустимой скорости $v_{don}(s)$ и признаки прицельного торможения Π_m и торможения в конце блок-участка

Π_{6y} . С целью повышения точности выполнения графика движения путем более гибкой коррекции позиции управления была разработана система САВП2, упрощенная функциональная схема которой показана на рис. 1.

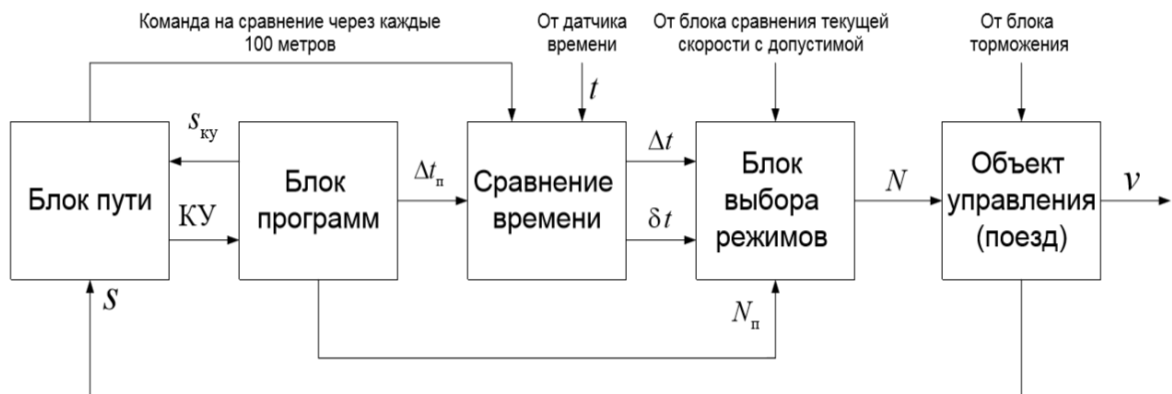


Рис. 1. Функциональная схема одноконтурной САВП2

Она относится к классу автономных двухпрограммных систем с программами времени хода $t_n(s)$ и позиций управления $N(s)$. Алгоритм системы предполагает коррекцию программных позиций управления пропорционально рассогласованию по времени и его приращению. Для каждого контрольного участка в блоке программ записывается его длина $S_{ку}$ и определяется среднее время хода. Данные обновляются по сигналу конец контрольного участка (КУ) через каждые 100 м. В блоке сравнения времени хода вычисляются действительные отклонения от графика движения Δt и приращение времени хода δt на каждом КУ, равное разности между фактическим и программным временем хода по этому участку. В блоке выбора режимов на основании Δt , δt и N_n определяется номер позиции управления:

$$N = N_n + k_1 \Delta t + k_2 \delta t. \quad (1)$$

Данный способ коррекции позиции управления позволяет снизить перерегулирование относительно способа регулирования только по величине и сократить число переключений позиций управления Δt . Вычисление программ движения осуществлялось предварительно на основе оптимального тягового расчёта, а также методом динамического программирования по критерию минимума расхода электроэнергии на тягу [7 – 10].

По схожим принципам строились системы автоведения пригородных и грузовых поездов, особенности которых были связаны со спецификой объекта управления. Особенностью двухпрограммного автоведения грузовых поездов

являлось то, что машинист должен был выбирать один из режимов, соответствующий массе поезда, а также выполнять управление некоторыми режимами движения в ручном режиме (разгон поезда по условиям сцепления). Таким образом, первый этап дал необходимую научную и техническую базу для создания и внедрения устройств автоведения поездов, однако, как отмечалось выше, существенно сдерживался развитием элементной базы.

Дальнейшее совершенствование систем автоведения обусловлено появлением новой микропроцессорной элементной базы, позволяющей выполнять на борту локомотива в режиме реального времени энергооптимальный тяговый расчёт. На этом этапе системы автоведения создавались для подвижного состава как со ступенчатым, так и с плавным регулированием сил тяги и электрического торможения. Кроме того, оборудование современных локомотивов регуляторами скорости позволило унифицировать функциональные блоки системы независимо от принципа регулирования силы тяги локомотива.

В таком виде система управления, представленная на рис. 2, является двухконтурной. Она содержит нижний уровень – контур регулирования скорости, реализуемый в зависимости от особенностей локомотива (в этом случае формируется уставка тока I при непрерывном регулировании сил тяги и электрического торможения или номер позиции управления N – при ступенчатом), и унифицированный верхний уровень – регулятор времени хода и программный блок. Регулятор времени хода на основе программы $u(s)$ с учетом ограничений скорости, считываемых из базы данных (БД) участка обслуживания $v'_{огр}$ и формируемых на основе кодов автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) $v''_{огр}$, определяет заданную скорость движения v_z , а при необходимости и код режима движения R (тяга, выбег, торможение).

Программный блок может как хранить в памяти предварительно рассчитанные программы движения $u(s)$, так и осуществлять их вычисления в режиме реального времени на основе результатов упреждающего энергооптимального тягового расчёта или других методов, исходя из заданного времени хода по перегону T_3 . Данный подход позволяет компенсировать отклонения времени хода от программного вследствие неконтролируемых возмущений W путем постоянного пересчета программы в процессе движения поезда [1].

Современная система автоведения представляет собой аппаратно-программный комплекс, который в режиме реального времени рассчитывает

алгоритм следования на основе графика движения, профиля пути, мест расположения отдельных пунктов, сигналов светофоров, временных и постоянных ограничений скорости, массы состава и других параметров с регистрацией параметров движения дискретностью записи 10 параметров в секунду.

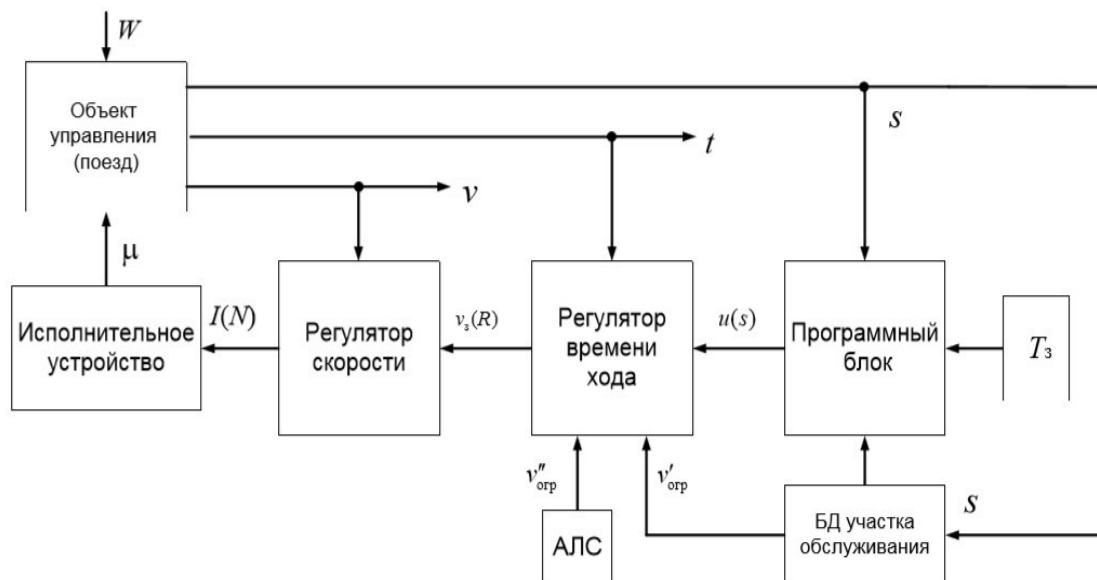


Рис. 2. Функциональная схема двухконтурной системы автоведения

Компанией ООО «АВП Технология» разработано более 28 различных систем автоведения для всех типов российских электропоездов, пассажирских электровозов включая ЭП20, грузовых электровозов ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80С, ВЛ85, 2ЭС5К(ЗЭС5К).

Блоки аппаратной части систем автоведения объединены в одну общую CAN-сеть. Она позволяет согласовать друг с другом разнотипные устройства. Полученные от систем локомотива аналоговые и дискретные сигналы обрабатываются, поступают в сеть и становятся доступными другим блокам систем.

На момент 2013 года компанией ООО «АВП Технология» было оборудовано системами автоведения и регистрации оборудовано 1613 электропоездов, 2559 пассажирский электровозов, 1267 грузовых электровозов и 91 тепловоз. Системы автоведения были разработаны и интегрированы на электровозах новых серий ЭП20, 2ЭС5К и ЗЭС5К с новыми бортовыми микропроцессорными системами управления локомотива

разработки Новочеркасского электровозостроительного завода совместно с российско-французской компанией «TRTrans».

В целях эффективной эксплуатации систем автоведения создается и внедряется инфраструктура эксплуатации в виде АРМ подготовки данных, расшифровки картриджей с автоматическим вычислением расхода энергоресурсов на тягу, а также система сервисного обслуживания. Экономия электроэнергии с использованием систем автоведения по сети составляет в среднем от 3 до 10% в зависимости от условий эксплуатации, уровня подготовки машинистов и энергоемкости расписаний.

Бортовые системы автоведения подвижного состава железных дорог прошли путь от собственно программных устройств управления до систем, предполагающих вычисление оптимальных программ движения на борту локомотива в режиме реального времени на основе упреждающего энергооптимального тягового расчёта. Современные системы автоведения являются чаще всего двухконтурными и содержат регулятор скорости, регулятор времени хода и программный блок. За 2009–2012 годы на ведение поездов по системе автоведения с использованием энергооптимальных расписаний переведены 1652 пассажирских поезда. Экономия электроэнергии составила 80 млн. Квт*ч и 150 тонн дизельного топлива.

Список литературы

1. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л. А. Баранов [и др]: под. ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
2. Донской, А. Л. Системы автоведения и регистрации для электровозов пассажирского движения / А. Л. Донской, Е. Е. Завьялов // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 9. – С. 9-12.
3. Fujikura, Nohomi, Yasunobu et. al. Automatic Train Operation Method // The Proceedings of The Inst.of Electrical Engineers of Japan, 1977. – P. 2205-2206.
4. Advanced train control systems / Ning B. [et. al.]. – UK: WITPress, 2010. – 153 p.
5. Юренко, К. И. Системы автоведения электроподвижного состава. Принципы построения и варианты реализации / К. И. Юренко, И. К. Юренко // Вестник Восточнoукраинского нац. ун-та им. Вл. Даля. – 2008. – № 5 (123). – Ч. 2. – С. 68-70.

6. Юренко, К. И. Пути совершенствования бортовых систем автоведения локомотивов // Академические фундаментальные исследования молодых ученых России и Германии в условиях глобального мира и новой культуры научных публикаций: Сб. матер. междунар. молодёж. конф. – Новочеркасск, 4-5 октября 2012 г. – ЮРГТУ (НПИ), ЛИК, 2012. – С. 404 –406.
7. Фаминский, Г. В. Автоматические устройства для вождения поездов / Г. В. Фаминский, Е. В. Ерофеев. – М.: Транспорт, 1978. – 103 с.
8. Ерофеев, Е. В. Выбор оптимального режима ведения поезда на ЭЦВМ с применением метода динамического программирования // Труды МИИТ. – 1967. – Вып. 228. – С. 16 – 30.
9. Ерофеев, Е. В. Оптимизация программ движения поездов / Е. В. Ерофеев, И. С. Мостов // Труды МИИТ. – 1977. – Вып. 550. – С. 121 – 125.
10. Сидельников, В. М. Выбор оптимального режима управления локомотивом с использованием ЭЦВМ / В. М. Сидельников // Вестник ЦНИИ МПС. – 1965. – № 2. – С. 52-58.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шатохин Андрей Петрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Подвижной состав электрических железных
дорог» ОмГУПС.
Тел.: 89620540430
E-mail: Shatohin_ap@mail.com

Максименко Роман Михайлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Студент группы 44Д.
Тел.: 89136752258
E-mail: romka.maksimenko97@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shatokhin Andrei Petrovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor of the department «Rolling stock of
electric Railways» OSTU.
Phone: 89620540430
E-mail: Shatohin_ap@mail.com

Maksimenko Roman Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Student group 44D
Phone: 89136752258
E-mail: romka.maksimenko97@gmail.com

С. Г. Истомир

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМ
ОБОРУДОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

В статье проведен глубокий анализ существующих технических и технологических решений в части организации методов и средств контроля и управления энергоэффективными режимами работы вспомогательного оборудования электроподвижного состава постоянного тока. Выявлены преимущества и недостатки существующих методов и средств, сформулированы планы по дальнейшему развитию темы исследования.

Ключевые слова: электроподвижной состав постоянного тока, расход на собственные нужды, отопление, система микроклимата, компрессорный агрегат, вспомогательные электрические машины.

Stanislav G. Istomin

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

**ANALYSIS OF THE METHODS AND MEANS OF CONTROL AND
MANAGEMENT OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION BY THE
AUXILIARY EQUIPMENT OF THE ELECTRIC MOBILE COMPOSITION
OF CURRENT CURRENT**

The article provides an in-depth analysis of existing technical and technological solutions in terms of organizing methods and means of monitoring and controlling energy-efficient operating modes of auxiliary equipment of electric rolling stock of direct current. The advantages and disadvantages of the existing methods and tools are identified, and plans for the further development of the research topic are formulated.

Keywords: DC electric rolling stock, consumption for own needs, heating, microclimate system, compressor unit, auxiliary electric machines.

Одной из приоритетных задач Энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года является значительное повышение энергетической эффективности тяги поездов. Так, в целом по ОАО «РЖД» прогнозируемое снижение удельного расхода тягово-энергетических ресурсов на тягу поездов к уровню 2015 года должно составить к 2020 году – 2,5 - 4,4%, к 2030 году 8,0 - 9,0% [1].

На реализацию этой приоритетной задачи, в частности, направлены мероприятия по повышению энергетических характеристик электроподвижного состава (ЭПС) при их создании на заводах-изготовителях или модернизации эксплуатируемых за счет подбора оптимальных по энергопотреблению параметров вспомогательного электрооборудования и организации контроля и управления за его энергоэффективной работой.

Однако, исследования [2 – 5], выполненные автором ранее (табл. 1), показали, что, несмотря на предпринимаемые меры по повышению энергетической эффективности ЭПС, в настоящий момент имеется значительный потенциал сокращения потерь электроэнергии на собственные нужды ЭПС, эксплуатирующегося в грузовом, пассажирском и пригородном движениях, реализовать который возможно путем создания новых методов и средств контроля и управления потреблением электроэнергии вспомогательного оборудования.

Таблица 1

Результаты оценки потенциала сокращения потерь электроэнергии на собственные нужды ЭПС

Серия ЭПС	Доля потерь на собственные нужды, % (расчетно-аналитический метод)	Доля потерь на собственные нужды, % (экспериментальный метод)
2ЭС6	2 – 4	2,7 – 10
ЭП2К	2 – 4	1 – 6
ЭД4М	4 – 5 (без учета отопления и кондиционирования)	3,4 – 6,4 (без учета отопления и кондиционирования)
ЭД4М	5 – 11 (отопление и кондиционирование)	3,9 – 14,5 (отопление и кондиционирование)

В целом все методы и средства возможно разделить на три основные группы (рис. 1), которые должны отвечать нормативно-технической документации, изложенной в [6].

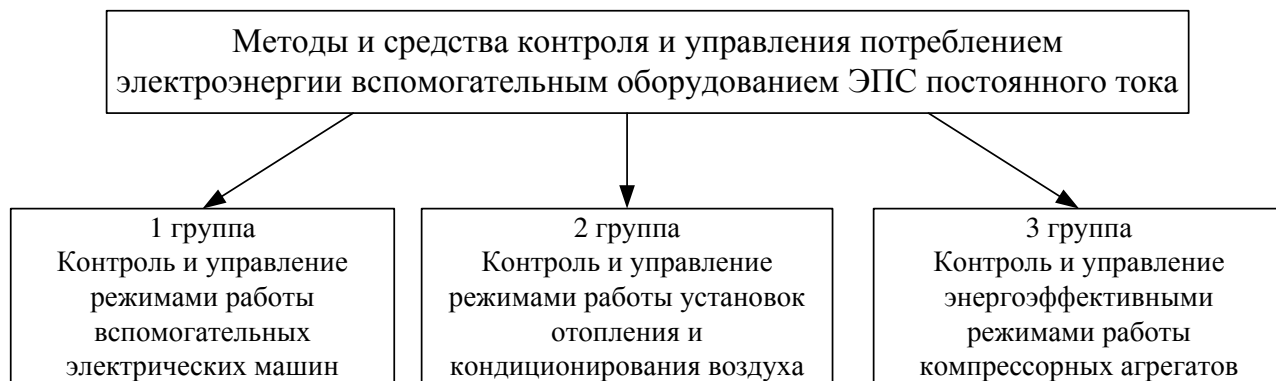


Рис. 1. Классификация методов и средств контроля и управления потреблением электроэнергии вспомогательным оборудованием ЭПС

К **первой группе** можно отнести следующие известные методы и средства:

1. Устройство для электропитания и регулирования вспомогательных электродвигателей электровоза переменного тока [7], содержащее фазорасщепитель и преобразователь частоты, предназначенные для питания вспомогательных электродвигателей. Главной особенностью данного устройства является то, что оно выполнено с подключаемым к обмотке собственных нужд силового трансформатора управляемым однофазным преобразователем частоты, подключаемым ко входу вращающегося фазорасщепителя, подающего на указанные электродвигатели питающее напряжение.

Основным недостатком данного устройства является невозможность применения на электровозах постоянного тока.

2. Система автоматизированного регулирования частоты вращения вентилятора электровоза переменного тока с тяговым двигателем постоянного тока [8], в якорную цепь которого включен сглаживающий реактор, содержащая датчик тока, включенный в цепь тока якоря тягового двигателя, первый блок контакторов, подключенный к обмотке собственных нужд силового трансформатора электровоза и к обмоткам приводного двигателя вентилятора, а также к одному из выходов микропроцессора управления, второй блок контакторов, подключенный входами на второй выход микропроцессора управления и на выход тиристорного преобразователя, а

своим выходом — к обмоткам приводного двигателя вентилятора, датчик вентиляции, расположенный в воздуховоде вентилятора, и задатчик уставки, соединенные с микропроцессором управления. Главной особенностью данной системы является то, что она снабжена установленным на шине сглаживающего реактора датчиком температуры, вход которого соединен через узел гальванической развязки с входом микропроцессора управления.

Основным недостатком данного устройства является также невозможность применения на электровозах постоянного тока.

3. Система вспомогательных электроприводов электроподвижного состава [9], содержащая клеммы для подключения преобразователей собственных нужд, к которым подключены несколько каналов нагрузок, представляющие собой преобразователи — инверторы напряжения, питающие вспомогательные электродвигатели и оборудование системы собственных нужд, управляемые блоками управления по командам системы управления, при этом указанные каналы нагрузок соединены проводами. Главной особенностью данной системы является то, что преобразователь и блок управления преобразователем каждого канала питания нагрузки расположены непосредственно на корпусе двигателя или оборудования системы собственных нужд.

Основным недостатком данной системы является то, что она в основном направлена на повышение надежности работы системы вспомогательных электроприводов и улучшения условий выявления неисправности блоков системы, а не на реализацию энергосберегающих режимов работы вспомогательных электроприводов.

Ко **второй группе** можно отнести следующие известные методы и средства:

1. Система обогрева кабины электровоза постоянного тока [10], содержащая высоковольтный электронагреватель, состоящий из последовательно соединенных трубчатых нагревательных элементов, мотор-вентиляторы, подающие нагретый воздух к рабочим местам в кабине, блок управления электронагревателем и мотор-вентиляторами. Главными особенностями данной системы является:

— высоковольтный электронагреватель размещен в кузове электровоза в баке с жидким теплоносителем, мотор-вентиляторы в кабине установлены в калориферах совместно с радиаторами, соединенными с баком нагнетательным и приточным трубопроводами, в качестве теплоносителя применена незамерзающая жидкость;

– в кабине установлены, по крайней мере, три параллельно включенных калорифера, из которых два установлены в нижней части задней стенки кабины напротив рабочих мест персонала, а один – под пультом и оснащен воздухопроводами, направленными к подножкам и стеклам;

– нагнетательный трубопровод имеет уклон от бака к радиаторам калориферов, а приточный трубопровод – обратный, причем понижения в уклонах не превышают величины диаметра трубы на всей длине каждого трубопровода.

Основным недостатком данной системы является расположение высоковольтного электронагревателя в кузове электровоза в баке с жидким теплоносителем, что может привести к повышенным тепловым потерям в трубопроводе и, как следствие этого, перерасходу электроэнергии.

2. Система отопления, вентиляции и кондиционирования кабины машиниста рельсового транспортного средства [11], содержащая устройство отопления, вентиляции и кондиционирования, соединенной с распределительной и рециркулярной камерами, установленными в подкрышечном пространстве, в котором распределительная камера через вертикальные воздухопроводы для подготовленного воздуха связана с воздухопроводом нагретого воздуха, которые в свою очередь, соединены с распределителем нагретого воздуха, расположенным в передней части кабины ниже лобового стекла.

Основным недостатком данной системы является невозможность установки системы кондиционирования на большинстве сериях ЭПС постоянного тока ввиду ограниченного пространства.

3. Система обеспечения микроклимата в кабине управления локомотива [12], содержащая кондиционер, подключенный через силовые контакты контактора к трехфазному высоковольтному источнику переменного напряжения локомотива, калориферы, представляющие собой нагревательные элементы и вентиляторы с приводными двигателями, электрические печи, плоские нагревательные элементы, нагревательные элементы которых подключены к трехфазному высоковольтному источнику переменного напряжения локомотива через автоматические выключатели и силовые контакты контакторов, ИК-аэрофит.

Основным недостатком данного устройства является также невозможность применения на электровозах постоянного тока.

4. Устройство (панель) управления обогревом салона транспортного средства, [13] содержащее блок управления, связанный с датчиками температуры, с нагревателями и приводами заслонок вентиляционно-отопительного устройства, сообщенного с каналами подачи воздуха в салон.

Данное устройство может быть использовано в качестве прототипа при разработке визуального контроля температуры салонов электропоездов.

5. Датчик температурный для систем отопления салонов моторвагонного подвижного состава с характеристикой типа «гистерезис», выполненный в виде электрической схемы, содержащей первый и второй выводы, образующие его вход питания, третий вывод, образующий его управляющий выход, и термочувствительный узел.

Данный датчик может быть использован в качестве прототипа при разработке вариантов размещения датчиков в салонах электропоездов.

К **третьей группе** относятся методы и средства, суть которых основывается на предельно допустимых значениях давления в тормозной системе поезда согласно нормативно-техническим документам, изложенным в [6].

В настоящее время широкое распространение и развитие на современном ЭПС получили статические преобразователи собственных нужд (ПСН), которые осуществляют питание компрессорных агрегатов, климатической установки, мотор-вентилятора, цепей освещения, обмоток возбуждения тяговых двигателей в режиме торможения и прочих собственных нужд [15]. Помимо питания вспомогательного оборудования ЭПС, на ПСН возложена также функция контроля и управления энергоэффективными режимами их работы, однако, как показали исследования, изложенные в [4, 5], а также анализ трудов [16-18], ПСН не в полной мере отвечает требованиям энергоэффективности, что порождает необходимость проведения дополнительных экспериментальных исследований по исследованию режимов работы ПСН и совершенствования алгоритмов его работы.

Список литературы

1. Гапанович, В. А. Энергетическая стратегия и электрификация российских железных дорог [Текст] / В. А. Гапанович, С. Н. Епифанцев, В. А. Овсейчук. – М.: Эко-Пресс, 2012. – 196 с.

2. Истомин, С. Г. Анализ параметров и режимов работы вспомогательного оборудования грузовых электровозов постоянного тока железных дорог [Текст] / С. Г. Истомин, Юрасов О. Д., Рахманов Д. А. // Молодежь и XXI век - 2018: Материалы VIII Международной молодежной научной конференции: В 5 томах. Том. 5. Юго-Зап. гос. ун-т, Курск: ЗАО Университетская книга, 2018. – С. 135 – 139.

3. Истомин, С. Г. Анализ параметров и режимов работы вспомогательного оборудования пассажирских электровозов постоянного тока железных дорог [Текст] / С. Г. Истомин, Юрасов О. Д., Рахманов Д. А. // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы Девятой Международной науч.-практической конференции, 10 – 13 апреля 2018 г. Иркутск: в 2 т. – Иркутск: ИрГУПС, 2018. – Т.2. – С 282 – 285.

4. Истомин, С. Г. Применение регрессионных моделей для оценки энергетической эффективности вспомогательного оборудования электровозов серии 2ЭС6 [Текст] / С. Г. Истомин, Д. И. Бондаревский // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2018. – №1 (33). – С. 22 – 30.

5. Сидорова, Е. А. Применение корреляционно-регрессионного анализа для оценки энергетической эффективности вспомогательного оборудования пассажирских электровозов постоянного тока серии ЭП2К [Текст] / Е. А. Сидорова, С. Г. Истомин, О. В. Гателюк // Вестник РГУПС. – 2018. – №3 (71). – С. 59 – 68.

6. Истомин, С. Г. Анализ нормативно-технической документации на режимы работы вспомогательного оборудования электроподвижного состава постоянного тока железных дорог [Текст] / С. Г. Истомин // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России («ТрансПромЭК-2018»): Материалы Всероссийской национальной научно-практической конференции, 1 – 2 марта 2018 г. Ростов-на-Дону: в 2 т. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2018. – Т.2. – С. 44 – 47.

7. Пат. 2173269 Российская Федерация, МПК 7В 60L 1/00, 7В 60L 9/08 В. Устройство для электропитания и регулирования вспомогательных машин электровозов переменного тока / Головченко В. А., Курбасов А. С., Феоктистов В. П.; заявитель и патентообладатель Московский государственный университет путей сообщения. – № 98117690/28; заявл. 25.09.98; опубл. 10.09.01. Бюл. № 25.

8. Пат. 2295461 Российская Федерация, МПК В 60 L 1 12. Система автоматизированного регулирования частоты вращения вентилятора электровоза переменного тока / Рабинович М. Д., Кожевников Б. Я., Михайловский В. Н., Чернохлебов В. Е.; заявитель и патентообладатель ООО «АВП-Технология». – № 2005128086/11; заявл. 09.09.05; опубл. 20.03.07. Бюл. № 8.

9. Пат. на полезную модель 81113 Российская Федерация, МПК В 60 L 1 12. Система вспомогательных электроприводов электроподвижного состава / Киреев А. В., Кононов Г. Н., Солтус К. П.; заявитель и патентообладатель ОАО «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт электровозостроения (ОАО «ВЭлНИИ»)). – № 2005114083/11; заявл. 23.04.08; опубл. 10.03.09. Бюл. № 7.

10. Пат. 2338656 Российская Федерация, МПК В61D 27/00. Система обогрева кабины электровоза / Варфоломеев Д. А., Горин В. И., Гусев В. Ю., Добашин С. А., Емельянов И. В., Михайлов Г. И., Новиков А. М., Попов В. А., Родионов И. Н.; заявитель и патентообладатель ОАО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава». – № 2007115534/11; заявл. 25.04.07; опубл. 20.11.08. Бюл. № 32.

11. Пат. 2481981 Российская Федерация, МПК В61D 27/00, В60Н 1/00. Система отопления, вентиляции и кондиционирования кабины машиниста рельсового транспортного средства / Курятников В. А., Полухов Н. А., Глухов В. Г., Парамонов Б. И.; заявитель и патентообладатель ОАО «МЕТРОВАГОНМАШ». – № 2011147838/11; заявл. 25.11.11; опубл. 20.05.13. Бюл. № 14.

12. Пат. 2489287 Российская Федерация, МПК В61С 17/12. Система обеспечения микроклимата в кабине управления локомотива / Газев Д. А., Лыткина Е. М., Худоногов А. М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВПО ИргУПС). – № 2011119395/11; заявл. 07.11.11; опубл. 10.08.13. Бюл. № 22.

13. Пат. на полезную модель 85427 Российская Федерация, МПК В 61 D 27 00. Панель управления обогревом / Лютов А. Н., Мороз В. П., Еремин А. В.; заявитель и патентообладатель ООО «ТЭК-Панорама». – № 2009111941/22; заявл. 01.04.09; опубл. 10.08.09. Бюл. № 22.

14. Пат. на полезную модель 116634 Российская Федерация, МПК G 01 K

1 00. Датчик температурный для систем отопления салонов моторвагонного подвижного состава / Кириленко С. В., Шнейдер М. А.; заявитель и патентообладатель ОАО «Свердловская пригородная компания». – № 2011153266/28; заявл. 26.12.11; опубл. 27.05.12. Бюл. № 15.

15. Трансконвертер [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://transconverter.ru/psn80y>, свободный.

16. Пат. 2332777 Российская Федерация, МПК Н 02 М 9 04. Локомотивный преобразователь собственных нужд / Солтус К. П., Синявский И. В., Турулев В. М.; заявитель и патентообладатель ОАО «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт электровозостроения (ОАО «ВЭЛНИИ»)). – № 2007111426/09; заявл. 28.03.07; опубл. 27.08.08. Бюл. № 24.

17. Пат. 2314939 Российская Федерация, МПК В 60 L 9 04, В 60 L 1 00. Преобразователь собственных нужд электровоза / Беляев А. В., Рутштейн А. М., Хоменко Б. И.; заявитель и патентообладатель ОАО «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт электровозостроения (ОАО «ВЭЛНИИ»)). – № 2005114083/11; заявл. 11.05.05; опубл. 20.01.08. Бюл. № 32.

18. Пат. на полезную модель 95437 Российская Федерация, МПК Н 02 М 5 45; Н 05 К 07 00. Статический преобразователь частоты / Бабков Ю. В., Кузнецов Н. А., Кощеев С. Н., Клименко Ю. И., Перфильев К. С., Романов И. В.; заявитель и патентообладатель ОАО «Российские железные дороги». – № 2010105280/22; заявл. 16.02.10; опубл. 27.06.10. Бюл. № 18.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Истомин Станислав Геннадьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-34-19

E-mail: istomin_sg@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Istomin Stanislav Gennadevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Rolling stock electric railways» OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-34-19

E-mail: istomin_sg@mail.ru

А. Т. Осяев¹, С. В. Фокин²

¹Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация,

²АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), г. Коломна Московской области, Российская Федерация

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье представлена функциональная модель работы специального подвижного состава, основанная на модели Цифровой железной дороги, развивающейся в настоящее время в России. Описаны основные системы, применяемые на специальном подвижном составе. Выделен и рассмотрен отдельно блок системы мониторинга технического состояния специального подвижного состава, необходимой для эффективной работы обслуживающего персонала.

Ключевые слова: специальный подвижной состав, функциональная модель работы, техническая диагностика, «умный» подвижной состав, цифровизация подвижного состава, цифровая железная дорога

Anatoly T. Osyayev¹, Sergey V. Fokin²

¹Russian University of Transport (RUT - MIIT), Moscow, Russian Federation,

²Joint Stock Company "All-Russian Scientific-Research and Design Technological Institute of Rolling Stock" ("VNIKTI"), Moscow region, Kolomna, Russian Federation

FUNCTIONAL MODEL OF TECHNICAL CONDITION MONITORING SYSTEM FOR SPECIAL ROLLING STOCK

The article presents a functional model of the operation of a special rolling stock, based on the model of the Digital Railway that is currently developing in Russia. The main systems used on special rolling stock are described. The block of the system for monitoring the technical condition of special rolling stock has been selected and reviewed separately. It's necessary for the effective work of the staff.

Keywords: railway track maintenance machines, functional model of work, technical diagnostics, "smart" rolling stock, rolling stock digitalization, digital railway

В настоящее время в большинстве экономических секторов нашей страны идёт активное внедрение информационных технологий. Работа с данными, их обработка, применение информационно-коммуникационных систем играет

основополагающую роль в современной экономике. Особую роль занимают компании цифрового сектора, которые занимают лидирующие позиции на рынке и открывают возможности использования цифровых ресурсов другим отраслям промышленности. Для железнодорожной отрасли информационные технологии и телекоммуникации представляют собой основу организации деятельности. А так как традиционные инструменты повышения эффективности уже практически исчерпаны, то для дальнейшего развития необходимы будут именно цифровые технологии [1]. Направление мощного внедрения цифровых технологий в железнодорожной отрасли получило название «Цифровая железная дорога».

Одним из основополагающих компонентов Цифровой Железной дороги является подвижной состав. Имеется определённое количество разработок и проектов, посвященных концепции «Умный локомотив» [2]. Но помимо тягового подвижного состава следует обратить особое внимание на внедрение информационных технологий в работу специального подвижного состава (СПС). СПС используется для создания новых железнодорожных путей и для обслуживания уже имеющихся. СПС имеет самое разное назначение: путеукладчик, дрезина, балластоуплотнительная, шпалоподбивочная машина, снегоочиститель, и др. (Рис. 1)



Рис. 1. Виды специального подвижного состава

Можно утверждать, что развитие железнодорожной отрасли идёт не только в сторону «цифровизации», но и, несомненно, в сторону увеличения пропускной способности путей, расширения функциональности железнодорожного транспорта, поэтому задачи обслуживания путевой инфраструктуры, выполняемые специальным подвижным составом,

усложняются. Конструкция специального подвижного состава совершенствуется и дополняется – появляются новые механизмы и рабочие органы, обязательно наличие средств безопасности и связи, средств «цифровизации». Актуальной задачей является обеспечение безотказной работы СПС, контроль его технического состояния. Выполнение этой задачи возможно путем непрерывного мониторинга СПС, который позволит выявить неисправность на ранней стадии, а также принятия необходимых мер по устранению выявленной неисправности в кратчайшие сроки.

Функциональная модель системы мониторинга технического состояния для специального подвижного состава является одним из модулей предлагаемой функциональной модели работы цифрового СПС (Рис. 2).

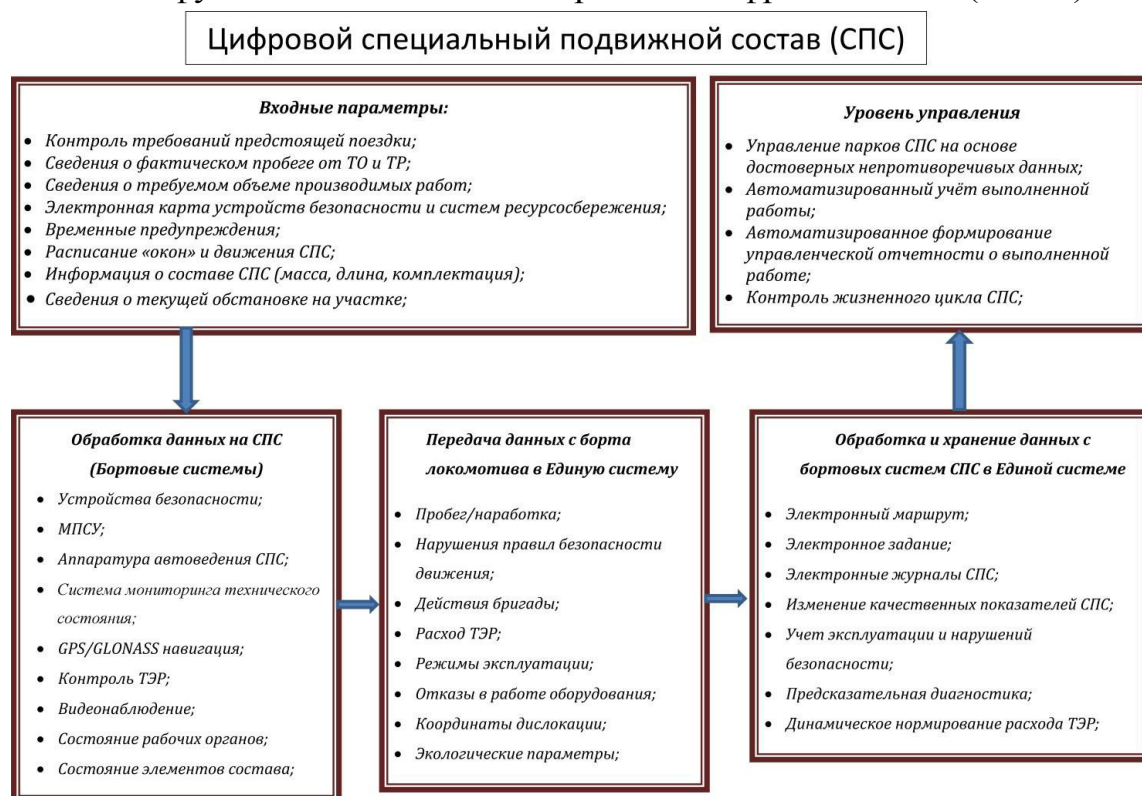


Рис. 2. Функциональная модель работы цифрового СПС

Для представления функциональной модели системы мониторинга технического состояния следует учесть, что все типы Цифрового СПС, независимо от назначения, должны быть унифицированы в плане перечня передаваемых данных. Это необходимо для обеспечения возможности разработки и применения универсальных алгоритмов обработки Big Data массивов. Для соблюдения этого требования нужно принять во внимание, что, несмотря на различное предназначение, многие виды СПС имеют аналогичные агрегаты и системы на борту. Рассмотрим более подробно эти системы:

Гидравлические системы. Современный СПС имеет гидравлический или гидростатический привод исполнительных рабочих органов, гидростатический привод для передвижения в транспортном режиме. В состав гидросистем входят разные типы гидравлических устройств (насосы, гидромоторы, гидроаккумуляторы, предохранительные и редукционные клапаны, распределители и др.).

Опыт эксплуатации гидрофицированных СПС показал, что более 25% всех отказов приходится на систему гидропривода. Сложность гидравлических систем современного СПС определяет повышенное время на поиск и устранение неисправностей, что приводит к сбою графика движения поездов и простоям машин на неплановом ремонте.

В последнее время на СПС широко внедряются гидромеханические коробки передач, что ставит необходимость непрерывного контроля и прогнозирования работоспособности такого сложного агрегата.

В конструкциях современных путевых машин широкое применение получили объемные гидросистемы. Их преимущества обусловлены относительно малыми габаритами и весом на единицу мощности.

Гидравлические системы состоят из значительного числа элементов, часть из которых выполняет однотипные функции: насосы, гидромоторы, аппаратура предохранения и защиты, распределительная аппаратура, гидроаккумулятор, трубопроводы. Рабочим телом (средой) в гидросистемах являются жидкости, характеризующиеся высоким объемным модулем сжатия и вязкости. [3]

Элементы ходовой части. В процессе эксплуатации подвижного состава наиболее интенсивно изнашиваются подшипники буксовых узлов и колеса. Они испытывают максимальные динамические нагрузки.

Дефекты и неисправности тележек способствуют возникновению дополнительных осевых нагрузок на подшипники, приводят к люфту, ускоряют их износ. Изменяются геометрия и профиль колес с подрезанием гребня. Накапливается усталость поверхности качения колеса.

Дефекты поверхности качения колеса, в свою очередь, ускоряют износ, вызывают люфт и повреждения поверхностей качения подшипников. Отказ и перегрев подшипника буксового узла, а также вышеперечисленные дефекты, могут завершиться сходом состава с рельсов. [4]

Энергетические агрегаты. Техническое состояние электродвигателей, генераторов и аппаратов, установленных на СПС, зависит от состояния изоляции обмоток и наличия обрывов в них, коммутационных контактов и

наличия замыканий в обмотках. Согласно статистическим данным, отказы, связанные с дефектами в обмотках, составляют до 95%, с дефектами механической части – до 5% общего числа отказов.

Как правило, электрические машины и аппараты, установленные на СПС, работают на открытом воздухе. Влага, проникающая в поры и капилляры изоляции, резко снижает сопротивление, хотя пробоя и не происходит. В то же время локальные дефекты сухой изоляции и изоляции, обладающей большим сопротивлением, повышают опасность пробоя. Для прогнозирования работоспособности изоляции необходимо дополнительно определять коэффициент абсорбции, ёмкость изоляции, тангенс угла диэлектрических потерь, коэффициент нелинейности, нагревостойкость изоляции. [5]

Элементы трансмиссии. На путевых машинах применяются механические, гидравлические (объемные и гидродинамические), электрические и пневматические трансмиссии (силовые передачи).

Характерные неисправности для гидравлических трансмиссий это: нарушение герметичности системы; износ сопряжений в насосах, гидромоторах, распределителях и гидроцилиндрах; засорение фильтров; загрязнение рабочей жидкости.

В качестве неисправности в механических силовых передачах наиболее распространен износ зубчатых, шлицевых, шпоночных, карданных и подшипниковых сопряжений. Это приводит к увеличению суммарных угловых зазоров в механизмах, повышению шума и вибраций, нарушению плавности в работе и изменению температуры [5].

Для пневматических систем характерны повреждения шлангов и трубопроводов, ослабления затяжки соединений трубопроводов, шлангов, соединительной и переходной арматуры, корпусных деталей аппаратов, неисправность компрессора.

Система мониторинга технического состояния СПС связана непосредственно с работой машиниста. Она помогает обслуживающему персоналу видеть состояние машины, оценивать текущую ситуацию. Несмотря на то, что в схеме Цифрового СПС, представленной на рис. 2, участие машиниста минимизировано, работа СПС без участия человека не будет возможна в обозримом будущем в силу сложности, разнородности и специфики работы СПС.

Таким образом, можно представить функциональную модель системы мониторинга технического состояния в виде: (Рис. 3)

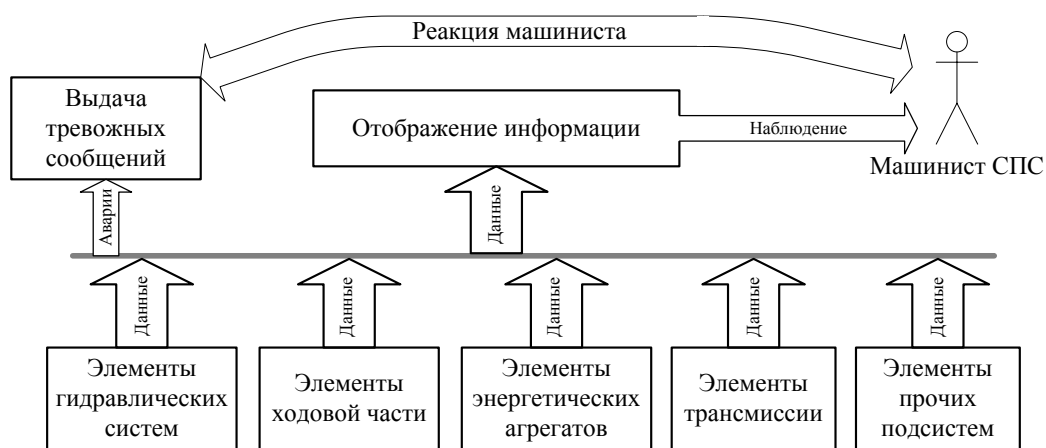


Рис. 3. Функциональная модель системы мониторинга технического состояния для СПС

Согласно этой модели данные с контролируемых устройств поступают в единый блок отображения информации, на котором машинист видит техническое состояние машины. Отдельно вынесен блок аварийных сообщений – в случае возникновения опасной ситуации необходима дополнительная сигнализация и получение ответной реакции контролирующего лица.

Таким образом, представленная функциональная модель описывает работу модуля мониторинга технического состояния СПС, который является частью общей модели цифрового СПС. «Цифровизация» СПС неразрывно связана с цифровой железной дорогой и цифровой экономикой в целом. Общая идея основана на применении интернета-вещей в области обслуживания железнодорожной отрасли и технологий интеллектуального управления транспортным комплексом [6]. Представленная модель Цифрового СПС является очень сложным информационно-технологическим комплексом, позволяющим, решить глобальную государственную проблему оптимизации транспортной составляющей в цене продукции отечественной экономики [7]. Но к вопросу реализации предложенной модели необходимо подходить последовательно. Реализация системы мониторинга технического состояния для СПС является актуальной и своевременной задачей на данном этапе.

Список литературы

1. Чаркин, Е. И. Мы сохраняем компетенции, мы сохраняем мозги [Интервью для сайта BFM.ru] [Электронный ресурс] / Е. И. Чаркин // информационный портал Бизнес-FM. – 31.10.2016. – Режим доступа: <https://www.bfm.ru/news/337143>

2. Берзин, А. Умный локомотив для цифровой дороги / А. Берзин // Гудок.– №65 (26204) , 5 полоса.–19.04.2017 г.

3. Объемный гидропривод путевых машин [Электронный ресурс] // информационный портал Путь и путевое хозяйство. – 06.03.2014. – Режим доступа: <https://rzd-puteetz.ru/obemnyj-gidroprivod-putevyh-mashin/>

4. Иванова, Ю.А. Повышение ресурса буксовых подшипников грузовых вагонов [Текст]: дис.....канд. тех. наук: 05.22.07: / Иванова Юлия Алексеевна. – Омск, 2009. – 141 с.

5. Максименко, А. Н. Диагностика строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин [Текст]: Учебное пособие / А. Н. Максименко, Г. Л. Антипенко, С. Г. Лягушев.– СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – с. 97 – 111.

6. Розенберг, Е. Н. Цифровая экономика и цифровая железная дорога [Текст] / Е.Н. Розенберг, В.И.Уманский, Ю.В.Дзюба // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – №5(72). – С. 45 – 49.

7. Лёвин, Б. А. Цифровая логистика и электронный обмен данными в грузовых перевозках [Текст] / Б.А. Лёвин, О.В. Ефимова // Мир транспорта.– 2017.– №2. – С. 142-149.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Осяев Анатолий Тимофеевич

Российская открытая академия транспорта
РУТ(МИИТ).
Часовая ул., д. 22/2, г. Москва, 125190,
Российская Федерация.
Доктор технических наук, профессор,
старший научный сотрудник, кафедра
«Тяговый подвижной состав» РУТ(МИИТ).
Тел. : +7(495) 649-19-50.
E-mail: osyaev@mail.ru

Фокин Сергей Владимирович

АО «Научно-исследовательский и
конструкторско-технологический институт
подвижного состава» (ВНИКТИ).
ул. Октябрьской революции, д. 410, г.
Коломна Московской области 140402,
Российская Федерация.
Аспирант РУТ(МИИТ), инженер-
программист 1 категории, отделение
динамики и прочности подвижного состава и
инфраструктуры, АО «ВНИКТИ».
Тел. : +7(496)618-82-48
E-mail: Sergei-Kolomna@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Osyaev Anatoly Timofeevich

Russian University of Transport» (RUT - MIIT).
22/2, Chasovaya str., Moscow, 125190,
the Russian Federation.
Doctor of Technical Science, Professor, senior
researcher of department «Traction rolling
stock» RUT – MIIT.
Phone: +7(495) 649-19-50.
E-mail: osyaev@mail.ru

Fokin Sergey Vladimirovich

Joint Stock Company «All-Russian Scientific-
Research and Design Technological Institute of
Rolling Stock» («VNIKTI»)).
410, Oktiabrskoy revoliucii str., Moscow region,
Kolomna, 140402, the Russian Federation.
Postgraduate RUT – MIIT, 1-st category
software engineer, department of «Dynamics
and strength of rolling stock and infrastructure»
VNIKTI.
Phone: +7(496)618-82-48.
E-mail: Sergei-Kolomna@mail.ru

М. И. Хисматулин, З. З. Ергашев, А. Р. Сотволдиев

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (ТашИИТ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

ТЯГОВЫЕ КАЧЕСТВА ПРОФИЛЯ ПУТИ УЧАСТКА МАРОКАНД – КАТТАКУРГАН ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

Представлены результаты исследований по обоснованию тягового качества профиля пути перегонов холмисто - горного участка железной дороги в виде табличных данных и графических зависимостей, которые были получены при движении грузовых поездов без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Ключевые слова: исследование, грузовой поезд, тепловоз, железнодорожный путь, участок пути, эксплуатация, разъезд, тяговые качества, холмисто-горный, профиль пути.

Marat I. Khismatulin, Zuhritdin Z. Ergashev, Abduvohid R. Sotvoldiyev

Tashkent institute of railway transport engineering (TashIET),
Tashkent, the Republik of Uzbekistan

THE TRACTIVE QUALITIES OF THE PROFILE TRACK OF MAROKAND – KATTAKURGAN DISTRICT BY ELECTRIC TRACTION

Introduced the results of the investigation of the justification of the tractive quality profile track stages on a hilly-mountainous direction of railway as in the form of tabular dates and graphic arts dependences, which have received by of the movement freight trains without stopping on through stations, passing-tracks and division points.

Keywords: investigation, the freight train, the diesel locomotive, railway track, road section, exploitation, the stage, tractive qualities, hilly-mountainous, profile track.

На кафедре «Локомотивы и локомотивное хозяйство» проводятся исследования по обоснованию эффективности использования разных типов (серий) локомотивов электрической тяги на различных по степени трудности железнодорожных линиях и участках АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Известно [1], что от крутизны, протяжённости и последовательности расположения элементов профиля пути последние разделяются на четыре разных типа - равнинный, холмистый, холмисто – горный и горный, каждый из которых, "по своему", существенно влияет на характер движения грузовых и

пассажирских поездов, работу силовых энергетических установок и эффективность тягово - энергетических характеристик локомотивов.

Настоящие исследования, являясь логическим продолжением работ [2,3], проводили с целью обоснования тягового качества и свойства (трудности, сложности) профиля пути перегонов одного из реальных участков узбекских железных дорог, опираясь на параметры основных показателей перевозочной работы магистральных (поездных) грузовых локомотивов.

Объект исследования составляют трёхсекционные магистральные (поездные) грузовые электровозы серии ЗВЛ80^С и спрямлённый профиль пути участка Мароканд - Каттакурган холмисто – горного направления Самарканд – Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Предметом исследования являются кинематические параметры движения грузового поезда максимальной массы состава и параметры показателей тягово - энергетической эффективности исследуемых электровозов ЗВЛ80^С на заданном участке Мароканд - Каттакурган Узбекской железной дороги.

Опираясь на [3] и результаты работ [4], методика исследований предусматривала сравнение тягового качества и свойства между перегонами профиля пути исследуемого участка Мароканд - Каттакурган в процессе движения грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Критерий оценки (сравнения) - приведённые значения общего (полного) и удельного расхода электрической энергии на тягу поездов [5], которые соответствуют распределённой на единицу времени работы силовых энергетических установок локомотива в режиме тяги величине расхода электрической энергии электровоза в реальных условиях эксплуатации.

В табл. 1 и табл. 2 приведены, соответственно, кинематические параметры движения грузового поезда с максимальной массой состава $Q=3500$ т (число осей $m=200$ осей) и упомянутые выше расходы электрической энергии магистральными (поездными) грузовыми электровозами ЗВЛ80^С по перегонам принятого (заданного) холмисто – горного участка Мароканд - Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Динамика изменения общего и удельного расхода электрической энергии магистральными (поездными) грузовыми электровозами ЗВЛ80^С по перегонам участка Мароканд - Каттакурган в процессе движения грузовых поездов без

остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах, и показателя трудности профиля пути этого участка показаны на рис. 1 и рис. 2. По оси ординат отложены расходы электрической энергии на тягу поездов: A , a – соответственно, общий (полный) и удельный, A^* , a^* – соответственно, приведённые общий (полный) и удельный.

Таблица 1

Кинематические параметры движения грузового поезда
по перегонам участка Мароканд - Каттакурбан, движение без остановок

№ п/п	Перегоны	Техни- ческая скорость движения V_t , км/ч	Время хода поезда без остановок, мин		
			по перего- ну	в режиме	
				тяги	холостого хода и торможения
1	Мароканд – Джума	67,08	7,80	3,30	4,50
2	Джума - Нурбулак	73,90	23,15	3,00	20,15
3	Нурбулак - Каттакурбан	77,52	18,65	3,85	14,80
4	Мароканд – Каттакурбан	74,19	49,60	10,15	39,45

Таблица 2

Расход электрической энергии электровозами 3ВЛ80^с
при движения грузового поезда по участку Мароканд – Каттакурбан

№ п/п	Перегоны	Общий по перегонам и участку A , кВт-ч	
		Удельный по перегонам и участку a , Вт - ч/т км брутто	
		без остановок	с остановками
1	Мароканд – Джума	396,49 / 12,99	406,98 / 13,33
2	Джума - Нурбулак	514,47 / 5,15	847,44 / 8,49
3	Нурбулак - Каттакурбан	523,70 / 6,21	693,70 / 8,22
4	Мароканд – Каттакурбан	1434,66 / 6,68	1948,12 / 9,07

На рис. 1 значения удельного расхода электроэнергии a , величин критерия оценки тягового качества и свойства A^* и a^* перегонов профиля пути увеличены, соответственно, в 15, 10 и 100 раз. Значения удельного расхода электроэнергии a , величин критерия оценки тягового качества и свойства A^* и a^* перегонов профиля пути на рис. 2 увеличены, соответственно, в 15, 9 и 100 раз, а величина общего (полного) расхода электроэнергии уменьшена в 2 раза.

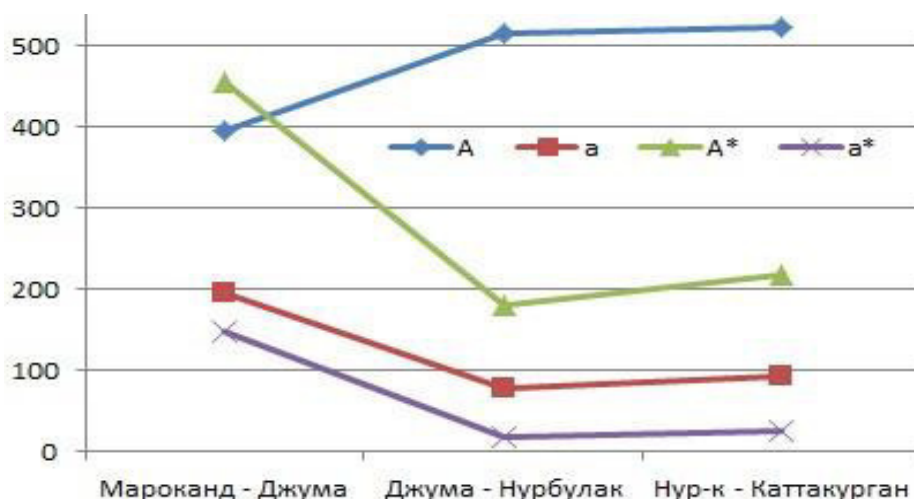


Рис. 1. График расхода электрической энергии электровозами 3ВЛ80^С по перегонам участка Мароканд - Каттакурбан, движение без остановок

Анализ значений табл. 1 и результатов исследований [3,4] показывает, что движение грузовых поездов на упомянутом участке Мароканд - Каттакурбан, которое было организовано без остановок на промежуточных станциях, разъездах и раздельных пунктах, способствует:

- уменьшению времени хода поезда на 3,85 мин и увеличению технической скорости движения на 5,32 км/ч при среднем расчётном времени на одну остановку приблизительно в 1,92 минуты;
- долям движения на режимах тяги в 19,76 процента, а холостого хода и торможения в 80,24 процента;
- уменьшению доли движения в режиме тяги и её увеличению в режиме холостого хода и торможения на 0,64 процента по сравнению с движением грузового поезда с остановками на промежуточных станциях, раздельных пунктах и разъездах.

На основании анализа результата проведённых исследований и используя данные работ [4,5], сформулируем обобщающие выводы.

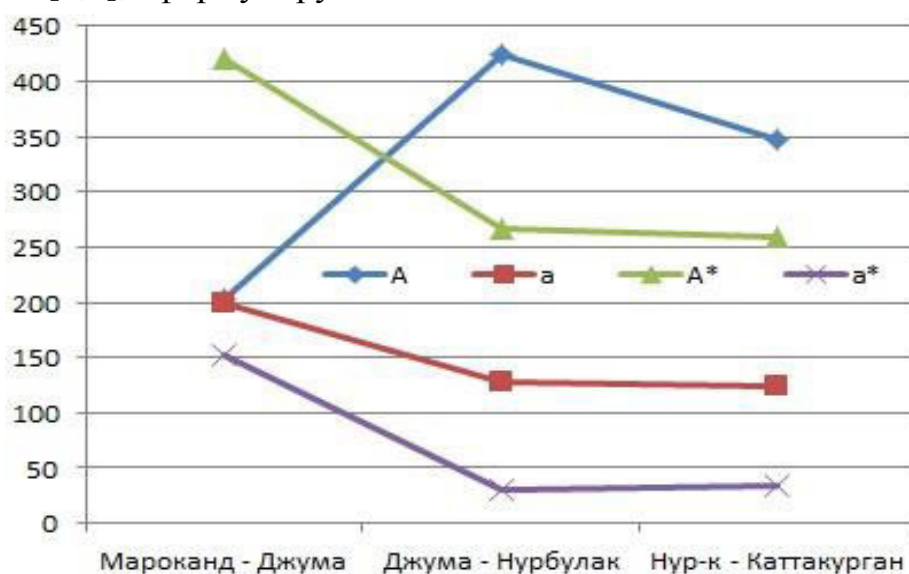


Рис. 2. График расхода электрической энергии электровозами 3ВЛ80^С по перегонам участка Мароканд - Каттакурган, движение с остановками

1. Значения некоторых основных показателей перевозочной работы упомянутых электровозов 3ВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган равны:

- среднее время движения грузового поезда по перегонам с остановками по промежуточным станциям, отдельным пунктам и разъездам и на разгон – замедление составляет, соответственно, 17,82 мин, 1,06 и 1,22 минуты;

- среднее время движения грузового поезда по перегонам без остановок на промежуточной станции, отдельном пунктах и разъездах – это 16,53 минуты;

- движение грузовых поездов без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах по сравнению с движением их с остановками на них способствует снижению общего (полного) и удельного расхода электрической энергии, в среднем, приблизительно на 26,36 процента;

- расход электрической энергии для одной остановки на промежуточных станциях, отдельных пунктах и разъездах составляет 256,73 кВт, а на один разгон - замедление этот расход, в среднем, соответствует 171,15 кВт.

2. Величина приведенного расхода электрической энергии общего (A^* , кВт / км) и удельного (a^* , Вт-ч / т км брутто: км) по перегонам холмисто – горного участка Мароканд - Каттакурган составляет:

- на перегоне Мароканд – Джума - 45,469 / 1,490 единиц – движение без остановок и 46,672 / 1,528 единиц – движение с остановками на разъездах, промежуточных станциях и отдельных пунктах;

- по перегону Джума - Нурбулак – 18,043 / 0,181 и 29,720 / 0,298 единиц, соответственно, при движении без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и промежуточных пунктах;

- на перегоне Нурбулак – Каттакурган - 21,734 / 0,258 единиц – движение без остановок и 28,789 / 0,341 единиц - движение с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Таким образом, оценка сложности профиля пути железнодорожного участка Мароканд - Каттакурган холмисто – горного направления Самарканд – Навои – Бухара показала, что перегон Мароканд – Джума является трудным, а два других перегона Джума - Нурбулак и Нурбулак – Каттакурган – лёгкие.

Результаты проведённых исследований будут полезны машинистам – инструкторам и специалистам цеха эксплуатации локомотивного депо Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари», профессиональная деятельность которых напрямую связана с оценкой тягового качества профиля пути и трассы железнодорожной линии (направления) Самарканд – Навои - Бухара.

Список литературы

1. Абляимов, О. С. Основы управления локомотивов: Учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков. – Ташкент: «Davr», 2012. – 392 с.

2. Абляимов, О. С. К эффективности использования электровозов ЗВЛ80^С на холмисто – горном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов, З. З. Ергашев, Т. М. Турсунов // Вторая международная науч. – практ. конференция «Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 17 – 24.

3. Абляимов, О. С. Исследование перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С на холмисто – горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» [Текст] / О. С. Абляимов // Науч. – техн. журнал «Вестник транспорта Поволжья» / Самарский гос. ун-т путей сообщения. – Самара, 2016. – № 5 (59) – С. 16 – 22.

4. Абляимов, О. С. Оценка эффективности перевозочной работы электрического тягового подвижного состава на холмисто – горном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов // Международный информационно-

аналитический журнал «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык» / Иркутский филиал Московского гос. тех. ун-та гражданской авиации. – Иркутск, 2017. – № 4. – С. 54 – 69.

5. Абляимов, О. С. Исследование эффективности использования электрического тягового подвижного состава на холмисто – горном участке железной дороги [Текст] / О. С. Абляимов // Научный журнал «Транспорт Азиатско – Тихоокеанского региона» / Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения. – Хабаровск, 2017. – № 2 (11). – С. 6 – 10.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Хисматулин Марат Ильдусович

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ).
ул. Адылходжаев д.1 г. Ташкент,
Республика Узбекистан.
Магистр, ассистент кафедры «Локомотивы и
локомотивное хозяйство» ТашИИТ.
Тел. +99894-617-08-74
E-mail: lokomotivlar@gmail.com

Ергашев Зухритдин Зайдинович

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ)
ул. Адылходжаев д.1 г. Ташкент,
Республика Узбекистан.
Кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Строительная
механика» ТашИИТ.
Тел. +99893-380-95-42
E-mail: ergashev33@ mail.ru

Сотвoldиев Абдувохид Рузйбой уғли

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта (ТашИИТ)
ул. Адылходжаев д.1 г. Ташкент,
Республика Узбекистан.
Бакалавр, инженер кафедры «Локомотивы и
локомотивное хозяйство» ТашИИТ.
Тел. +99891-134-60-03
E-mail: Abduvohid.Sotvoldiyev@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Khismatulin Marat Ildusovich

Tashkent Institute of Railway Transport
Engineers (TashIIT).
Adylkhodzhaeva st. d.1., Tashkent,
the Republic of Uzbekistan.
Master, assistant of the department
«Locomotives and locomotive economy»
TashIET.
Phone. +99894-617-08-74
E-mail: lokomotivlar@gmail.com

Ergashev Zuhritdin Zaidinovichovich

Tashkent Institute of Railway Transport
Engineers (TashIIT).
Adylkhodzhaeva st. d.1., Tashkent,
the Republic of Uzbekistan.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor, head of the chair «Building
mechanics» TashIET.
Phone. +99893-380-95-42
E-mail: ergashev33@ mail.ru

Sotvoldiev Abduvohid Ruziboy ugli

Tashkent Institute of Railway Transport
Engineers (TashIIT).
Adylkhodzhaeva st. d.1., Tashkent,
the Republic of Uzbekistan.
Bachelor, engineer of the department
«Locomotives and locomotive economy»
TashIET.
Phone. +99891-134-60-03
E-mail: Abduvohid.Sotvoldiyev@mail.ru

А. А. Лаврухин, Ю. В. Плотников, Е. В. Пономарев

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО БЛОКА ИЗМЕРЕНИЯ ПРИБОРА УЧЕТА НА ЭЛЕКТРОВОЗЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В статье представлены структурная схема и внешний вид блока измерений универсального прибора учета для электроподвижного состава. Проведены экспериментальные исследования блока измерений на электровозе ВЛ-10.

Ключевые слова: прибор учета электроэнергии, электровоз, ресурсосбережение, блок измерений, структурная схема, шунт.

Andrey A. Lavrukhin, Yuri V. Plotnikov, Eugeny V. Ponomarev

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

EXPERIMENTAL STUDY OF THE HIGH VOLTAGE UNIT OF MEASUREMENT OF THE METERING DEVICE ON THE LOCOMOTIVE DC

The article presents the block diagram and appearance of the measurement unit of the universal metering device for electric rolling stock. Experimental studies of the measurement unit on the electric locomotive VL-10.

Keywords: electricity metering device, electric locomotive, resource saving, measurement unit, block diagram, shunt.

Целевыми задачами инвестиционного проекта «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте» (далее – Проект), реализуемого в рамках Энергетической стратегии ОАО «РЖД», является внедрение на сети железных дорог наукоемких, перспективных энерго- и ресурсосберегающих технических средств и технологий, направленных на повышение технического уровня предприятий железнодорожного транспорта, снижение эксплуатационных затрат ОАО «РЖД».

Проект включает в себя технические средства и технологии, нацеленные на решение следующих задач:

- снижение удельного расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов;

- снижение затрат на топливно-энергетические ресурсы в стационарной энергетике;
- сокращение эксплуатационных расходов за счет рационального использования материальных ресурсов;
- более эффективное использование трудовых ресурсов в результате применения новых безлюдных и малообслуживаемых технологий, а также современных систем диагностики.

В рамках данного Проекта для решения проблемы снижения удельных расходов энергоресурсов на тягу поездов планируется широкомасштабное внедрение систем регулирования мощности тягового и вспомогательного оборудования тяговых подстанций и систем учета параметров работы электроподвижного состава (ЭПС).

Одним из направлений снижения удельного расхода на тягу поездов является метод поиска так называемых «узких мест» в системе тягового электроснабжения, с последующим анализом ситуации и разработкой мероприятий по устранению недостатков [1–3]. Суть метода состоит в синхронном мониторинге токов и напряжений на фидерах тяговых подстанций и токоприемниках электроподвижного состава, что позволяет локализовать расположение «узкого места» вплоть до отдельной межподстанционной зоны [4]. Таким образом, для оценки энергетической эффективности работы электроподвижного состава в межподстанционной зоне необходимо обеспечить синхронные измерения электрической энергии поступающей в межподстанционную зону по фидерам контактной сети и потребление её электроподвижным составом. Измерения должны осуществляться синхронно минимум через 1-3 секунды. Решение этого вопроса обеспечит снижение удельного расхода на тягу поездов за счет выявления «узких мест», которые скрыты в технологическом процессе потребления электроэнергии. Задача поиска «узких мест» актуальна, и в настоящее время полностью не решена.

Как известно, на электровозах переменного тока применяется косвенный метод измерения мощности потребления подвижного состава, что приводит к значительным погрешностям при измерениях. Внедрение прямого метода измерения мощности потребления электровозов переменного тока позволит улучшить учет расхода электроэнергии и сэкономить значительные средства в масштабах страны. В рамках научно-исследовательской работы на тему

«Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем электрифицированных железных дорог», выполняемой в Омском государственном университете путей сообщения в 2018 году, была произведена разработка универсального прибора учета для электроподвижного состава, пригодного для установки на электровагоны постоянного и переменного тока.

Помимо основного назначения – учета потребленной электрической энергии, прибор учета оснащен средствами навигации и передачи накопленных данных по радиоканалу, что обеспечивает полное соответствие «Технологии учета расхода электроэнергии электроподвижным составом с использованием информационно-измерительных комплексов» и «Техническим требованиям к автоматизированным информационно-измерительным комплексам учета электроэнергии на тяговом электроподвижном составе», утвержденные для применения на сети железных дорог ОАО «Российские железные дороги» распоряжением ОАО «РЖД» №3226р от 31 декабря 2014 г.

Измерение тока и напряжения производится аналогично прибору [5], посредством высоковольтного блока измерения, структурная схема которого представлена на рис. 1.

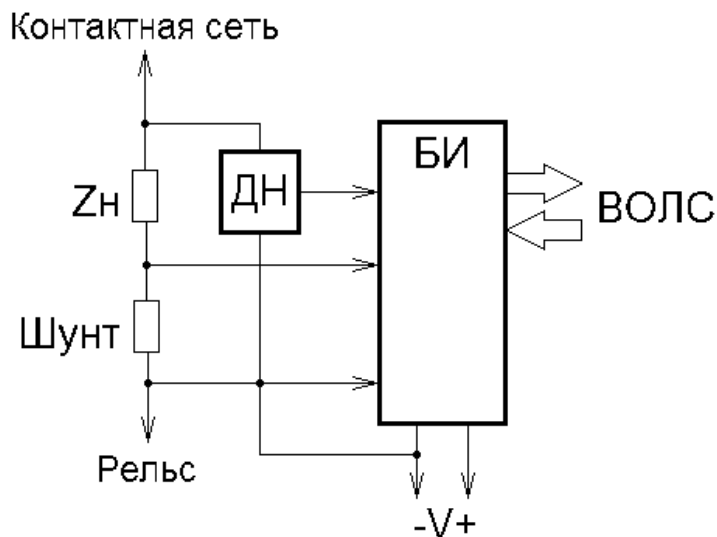


Рис. 1. Структурная схема высоковольтного блока измерения

Напряжение контактной сети поступает на электрические цепи электровагона, обозначенные условно резистором Z_n . К нижнему выводу Z_n подключен измерительный шунт, имеющий соединение с рельсом и замыкающий цепь. Так же напряжение контактной сети поступает на делитель

напряжения ДН, понижающий его согласно его коэффициенту деления до уровня, приемлемого для измерения цифровыми радиоэлементами. Выход ДН подключен к блоку измерения БИ, на который так же поступает выходное напряжение шунта для измерения величины протекающего через него тока. БИ выполняет измерения и передает полученные данные посредством волоконно-оптической линии связи ВОЛС на следующий информационный уровень.

Внешний вид печатной платы БИ совместно с ДН на основе набора прецизионных резисторов НР1-77-2-5 представлен на рис. 2.

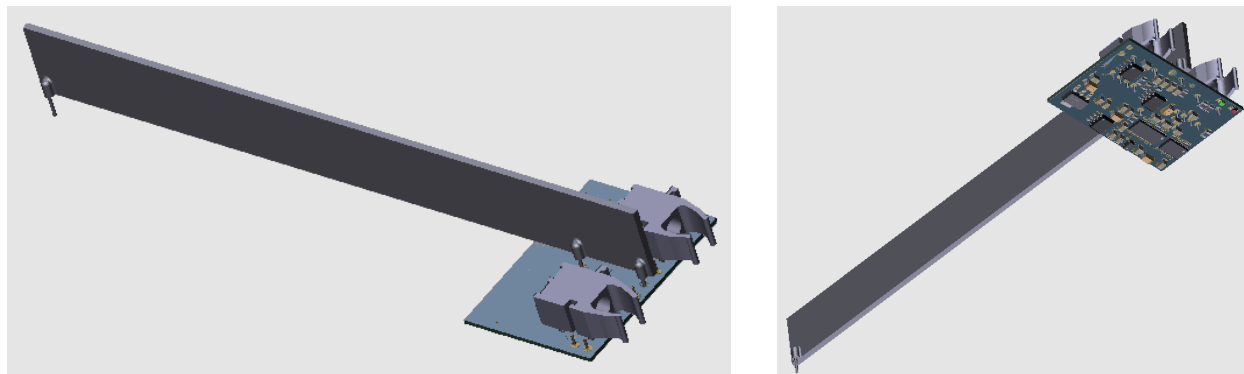


Рис. 2. Внешний вид платы печатной БИ с делителем НР1-77-2-5

Для обеспечения требуемой диэлектрической прочности конструкция была помещена в изолирующую трубу из фторопласта ФТ-4Д, залита изоляционным компаундом, после чего к изолирующей трубе были добавлены элементы крепления. Внешний вид готового к установке БИ представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид БИ с элементами крепления

Для экспериментальных исследований БИ был установлен в электровоз ВЛ-10, использующийся на маневровых работах в депо «Московка» г. Омск. В качестве шунта использовался шунт FL-39 на 2000 А номиналом 75 мВ и классом точности 0.5 представленный на рис. 4.



Рис. 4. Вид установленного на изоляторе шунта

БИ был установлен на изолирующем основании в непосредственной близости от штатных счетчиков электроэнергии, а шунт был подключен в разрыв силовой цепи вместо штатных шунтов счетчиков электровоза (рис. 5).

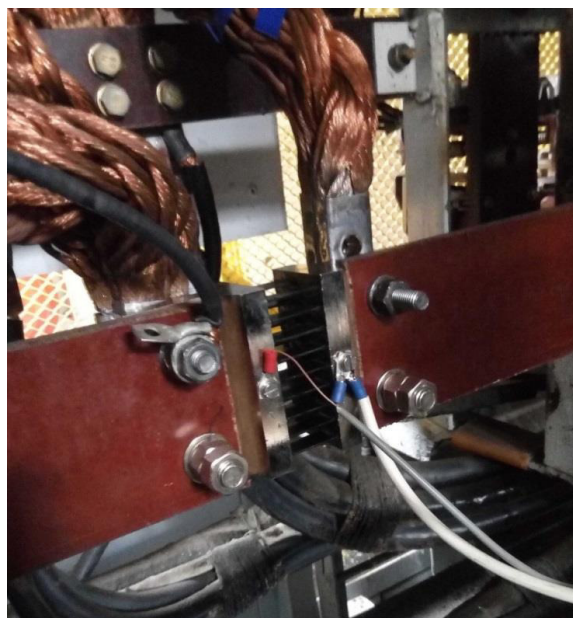


Рис. 5. Установка БИ в высоковольтной камере электровоза и подключения к шунту для измерения тягового тока на электровозе ВЛ-10

В кабине машиниста на месте помощника был размещен ноутбук с программой PortHCDD.exe. Связь ноутбука и блока измерения была обеспечена оптическим кабелем.

В ходе эксперимента в течение нескольких часов электровоз осуществлял маневровую работу на тракционных путях депо. Результаты измерений показали работоспособность БИ и соответствовали показаниям на панели приборов машиниста. Из полученных данных, максимальное напряжение контактной сети в процессе эксперимента составило 3320 В (под нагрузкой 7,3 А), минимальное – 3235,9 В (под нагрузкой 214,4 А).

По итогам успешных испытаний на маневровом электровозе ВЛ-10 были сделаны выводы о том, что построенный блок измерения пригоден для работы на электровозе постоянного тока в составе универсального прибора учета электроэнергии.

Список литературы

1. Черемисин, В. Т. Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров // Инновационные проекты и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте: Материалы научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2012. – С. 9 – 15.

2. Черемисин, В. Т. Оценка потенциала повышения энергетической эффективности системы тягового электроснабжения / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – 2013. – № 2 (14). – С. 75 – 84.

3. Черемисин, В. Т. Повышение энергетической эффективности электротяги при внедрении мониторинга электроэнергии на фидерах контактной сети / В. Т. Черемисин, А. Л. Каштанов, М. М. Никифоров // Транспорт Урала. – 2015. – № 2 (45). – С. 67 – 70.

4. Никифоров, М. М. Экспериментальная оценка потерь электроэнергии в преобразовательных агрегатах тяговых подстанций постоянного тока за счет применения АСУЭ ФКС / М. М. Никифоров, Ю. В. Плотников // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на

транспорте: Материалы второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омск, 2016. С. 234 – 241.

5. Пат. 156167 Российская Федерация, МПК G01R 21/00 (2006.00) Счетчик электрической энергии для тяговых подстанций и подвижного состава железнодорожного транспорта с питанием от сети постоянного тока / Чижма С. Н., Лаврухин А. А., Малютин А. Г., Окишев А. С., Плотников Ю. В., Чегодаев Ф. В.; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. – № 2015100595/28; заявл. 12.01.2015; опубл. 10.11.2015.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лаврухин Андрей Александрович
Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Автоматика и системы
управления» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-05-89.
E-mail: LavruhinAA@omgups.ru

Плотников Юрий Викторович
Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Подвижной состав
электрических железных дорог» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-34-19

Пономарев Евгений Владимирович
Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, начальник
научно-исследовательской части ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-68-94.
E-mail: nich.omgups@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lavrukhin Andrey Aleksandrovich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federaition.
Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor of the department «Automatic and
control systems» OSTU.
Phone: (3812) 31-05-89.
E-mail: LavruhinAA@omgups.ru

Plotnikov Yuri Viktorovich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federaition.
Graduate student of the department «Rolling
stock of electric railways» OSTU.
Phone: (3812) 31-34-19.

Ponomarev Eugeny Vladimirovich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federaition.
Candidate of technical Science, the chief of a
research departament OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-68-94.
E-mail: : nich.omgups@mail.ru

В. Т. Черемисин, Е. А. Третьяков, Г. Е. Головнев

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАМКНУТЫХ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ FACTS В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования компонентов распределенной системы автоматизации и управления качеством, потерями электроэнергии, пропускной способностью линий и надежностью электроснабжения в рамках развития интеллектуальных электрических сетей стационарных потребителей железных дорог. Представлен алгоритм оптимизации распределительных электрических сетей железных дорог с управляемыми гибкими системами передачи переменного тока, включенными в расщепку линий, образующих замкнутые схемы. Выполнено имитационное и математическое моделирование реализации предлагаемого алгоритма в распределительной электрической сети железных дорог и представлены полученные результаты. Результаты исследований показали, что применение замкнутых схем электроснабжения при напряжении 10-20 кВ стационарных потребителей с управляемыми FACTS в интеллектуальной электроэнергетической системе железных дорог позволит увеличить пропускную способность линий, выровнять между центрами питания нагрузку, повысить качество и снизить потери электроэнергии.

Ключевые слова: координация, напряжение, гибкие системы передачи переменного тока, распределенное управление, оптимизация, управляющие воздействия, матрица чувствительности, активно-адаптивные электрические сети.

Vasiliy T. Cheremisin, Evgeny A. Tretyakov, Grigory E. Golovnev

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

THE EFFICIENCY OF CLOSED CIRCUIT POWER SUPPLY STATIONARY USERS WITH CONTROLLED FACTS IN THE INTELLIGENT ELECTRICITY SYSTEM OF THE RAILWAYS

Relevance of work is caused by need of improvement of components of the distributed system of automation and management of quality, losses of the electric power, capacity of lines and reliability of power supply within development of intellectual electric networks of stationary consumers of the railroads. The algorithm of optimization of distribution electric networks of the railroads with the operated flexible systems of transfer of alternating current included in dissection of the lines forming the closed circuits is presented. Simulation and mathematical modeling of the proposed algorithm in the distribution electric network of Railways is performed and the results are presented. The results of the research have shown that the use of closed circuits of power supply at a voltage of 10-20 kV of stationary consumers with controlled FACTS in the intelligent electric power system of Railways can increase the capacity of lines, align the load between the power centers, improve quality and reduce power losses.

Keywords: coordination, voltage, flexible AC transmission systems, distributed control, optimization, control actions, sensitivity matrix, active-adaptive electrical networks.

Актуальность работы обусловлена необходимостью снижения потерь и повышения качества электроэнергии в рамках развития интеллектуальных электрических сетей стационарных потребителей железных дорог [1].

Использование распределенных энергоресурсов, например, накопителей энергии и управляемых нагрузок в перспективных распределительных электрических сетях железных дорог может привести к нарушению допустимого уровня напряжений [2]. В этом случае в разомкнутых электрических сетях для поддержания качества электроэнергии, повышения пропускной способности линий требуется строительство и модернизация системы электроснабжения. Однако, обеспечение надежной и экономичной работы распределительных сетей можно обеспечить за счет реконфигурации электрической сети с использованием силовых электронных устройств типа FACTS.

Известны исследования по реконфигурации электрической сети с помощью коммутационных переключений для оптимальной работы (например, балансировка нагрузки, минимизация потерь и улучшение качества напряжения) при нормальных условиях эксплуатации [3]. Практического применения данный подход практически не получил из-за высокой стоимости аппаратно-программной реализации дистанционного управления.

Применение силовых электронных устройств типа VSC (Voltage Source Converter) позволяет контролировать мощности нагрузок и стабилизировать уровень напряжения за счет динамического и непрерывного регулирования потока мощности между источниками в замкнутых распределительных электрических сетях [4].

В статье [5] была исследована эффективность индивидуальной установки VSC в простой электрической сети с двумя ТП. В данном исследовании подробнее оценим эффективность применения в распределительных электрических сетях нескольких VSC одновременно.

Величина активной и реактивной мощности, генерируемая VSC (далее - устройство), определяется путем решения оптимизационной задачи.

Оптимальная работа устройства связана с минимизацией потерь электроэнергии и балансировкой токов в линиях:

$$\Delta P = \sum_{k=1}^n r_k \cdot \frac{P_k^2 + Q_k^2}{|U_k|^2} + \Delta P_{VSC} \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\Delta I = \sum_{k=1}^n \left(\frac{I_k}{I_{kH}} \right)^2 \rightarrow \min,$$

где r_k ; P_k ; Q_k ; U_k – сопротивление, активная мощность, реактивная мощность и напряжение тока в линии k соответственно; I_k , I_{kH} – фактический и номинальный (требуемый) ток в линии; n – общее количество линий в электрической сети.

В качестве ограничений при разрешении уравнения (1) выступают минимальное и максимальное напряжения на шинах, максимально допустимые мощности в линиях. Представленная в уравнении (1) двухкритериальная оптимизационная задача может быть решена методом штрафных функций. В результате будет получен вектор параметров устройства (поток мощности)

$$S = [P_{S1l}; Q_{S1l}; P_{S1r}; Q_{S1r}; \dots; P_{Sm}; Q_{Sm}]^T, \quad (2)$$

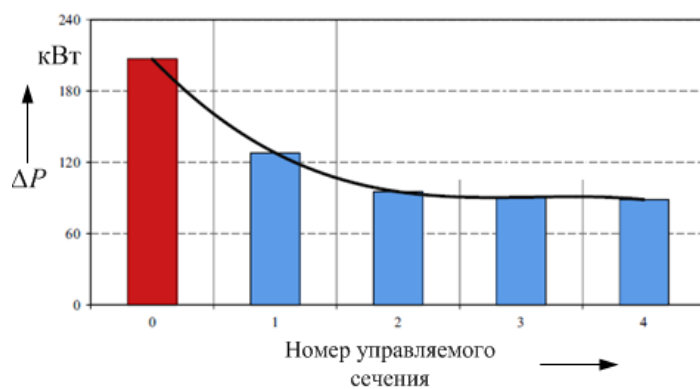
где P_{S1l} , Q_{S1l} ; P_{S1r} , Q_{S1r} – активные и реактивные мощности устройств, вырабатываемые в левую и правую точки подключения.

Алгоритм оптимизации режимов электрической сети с применением устройств VSC представлен на рис. 1.

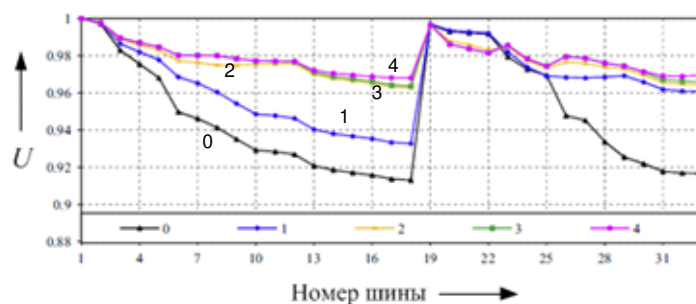


Рис. 1. Алгоритм оптимизации параметров режима с устройствами VSC

1 1 9



а)



б)

Рис. 4. Потери активной мощности (а) и напряжения на шинах (б) в тестовой электрической сети

Таким образом, использование управляемых устройств VSC для распределительных сетей приводит к уменьшению потерь электроэнергии, выравниванию нагрузок линий и улучшения качества напряжения.

По сравнению с реконфигурацией сети с помощью коммутационных аппаратов, использование управляемых устройств VSC позволяет получить лучшие результаты, особенно в случае существенной загрузки (перегрузки) электрической сети, как альтернатива усилению системы электроснабжения путем увеличения сечений, мощностей электрооборудования.

Список литературы

1. Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации (на период до 2030 года) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2013. № 14. С. 1738 – 1787.
2. Kechroud, A. Taking the experience from flexible AC transmission systems to flexible AC distribution systems / A. Kechroud, J. M. A. Myrzik, W. Kling // In: 42nd International universities power engineering conference, 2007. – Pp. 687 p.

3. Mutale, J. Transmission network reinforcement versus FACTS: an economic assessment // J Mutale, G. Strbac // In: IEEE power industry computer applications conference, 2009. – 961 p.

4. Bloemink, J. M. Increasing distributed generation penetration using soft normally-open points // J. M. Bloemink, T.C. Green // In: IEEE power and energy society general meeting, 2010. – Pp. 1 – 8.

5. Sayed, M. A. All nodes voltage regulation and line loss minimization in loop distribution systems using UPFC / M. A. Sayed, T. Takeshita // IEEE Trans Power Electron, 2011. – 1694 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Черемисин Василий Титович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Марска пр., 35 г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-34-19.

E-mail: cheremisinvt@gmail.com.

Третьяков Евгений Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Марска пр., 35 г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.

E-mail: eugentr@mail.ru

Головнев Григорий Евгеньевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Аспирант кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.

E-mail: grishantiy@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Cheremisin Vasily Titovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Doctor of Technical Science, Professor, head of the department «Rolling stock of electric railways» OSTU

Phone: +7 (3812) 31-34-19.

E-mail: cheremisinvt@gmail.com.

Tretyakov Evgeny Alexandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the department «Rolling Stock of Electric Railways» OSTU.

Tel.: 89059214730.

E-mail: eugentr@mail.ru.

Golovnev Grigory Evgenevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Post-graduate student of the department «Rolling stock of electric railways» OSTU.

E-mail: grishantiy@gmail.com.

Т. С. Тарасовский

Уральский государственный университет путей сообщения,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

**РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ ПЕРВИЧНОЙ ОБМОТКИ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ТИРИСТОРНО-
РЕАКТОРНЫМ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ ПРИ
ПОФАЗНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕНИЯ**

В статье представлены два несимметричных режима работы преобразовательного трансформатора с тиристорно-реакторным переключающим устройством (ТРПУ) с пофазным регулированием напряжения под нагрузкой (РПН). Представлена методика расчета фазных напряжений первичной обмотки преобразовательного трансформатора с ТРПУ при пофазном регулировании напряжения.

Ключевые слова: тяговое электроснабжение, регулирование напряжения под нагрузкой, тиристорно-реакторное переключающее устройство, пофазное регулирование, несимметричные режимы, фазные напряжения первичной обмотки.

Timofey S. Tarasovskiy

Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russian Federation

**CALCULATION OF VOLTAGES OF A PRIMARY WINDING CONVERTER
TRANSFORMER WITH A THYRISTOR-REACTOR SWITCHING DEVICE
(TRSD) PHASE-BY-PHASE VOLTAGE REGULATION**

The paper presents two asymmetric modes of operation converter transformer with a TRSD with phase-by-phase voltage regulation on-load tap-changer (OLTC). Analytic expressions are obtained for calculating phase voltages of the primary winding of a converter transformer with a TRSD in asymmetrical operating modes.

Keywords: traction power supply, on-load tap-changer, thyristor-reactor switching device, phase-by-phase voltage regulation, asymmetric modes, phase voltages of primary winding.

Первичная обмотка преобразовательного трансформатора (ПТ) состоит из последовательно соединенных сетевой обмотки (СО) и регулировочной обмотки (РО) с числом витков w_β и w_α соответственно. К отводу первичной обмотки (конец СО и начало РО) подключен тиристорный ключ ТК. К концу РО подключен НР. Концы тиристорного ключа ТК и НР образуют нейтраль с другими фазами трансформатора.

Уменьшение напряжения ступени регулирования при неизменном количестве ответвлений можно добиться, используя способ пофазного регулирования напряжения, что позволяет снизить напряжение ступени в 3 раза [1].

При пофазном регулировании напряжения ПТ к двум симметричным режимам работы ТРПУ [2], добавляются два несимметричных — открыт тиристорный ключ ТК в одной фазе (любой) или открыты одновременно два тиристорных ключа ТК в двух фазах (любых). Принципиальные электрические схемы соединений первичной обмотки ПТ с ТРПУ в несимметричных режимах показаны на рис. 1.

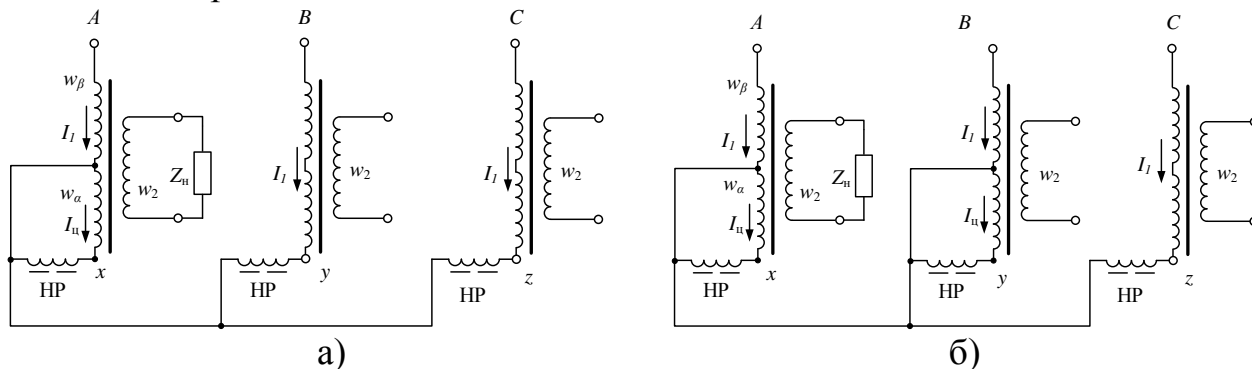


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема соединений первичной обмотки ПТ с ТРПУ в несимметричных режимах: а — при одном открытом тиристорном ключе (открыт ТКА); б — при двух открытых тиристорных ключах (открыт ТКА и ТКВ)

Далее рассмотрен несимметричный режим, когда открыт один тиристорный ключ, например, в фазе А, а в фазах В и С ключи закрыты.

Степень неравенства числа витков в фазах СО характеризует коэффициент несимметрии: $k = w_\beta / w_\alpha$, где w_β - базовое число витков двух фаз с равными числами витков [1].

Для проведения дальнейших расчетов, вводятся следующие обозначения:

U_A, U_B, U_C - напряжения питающей сети фаз А, В, С;

U_1 - фазное напряжение, приложенное к виткам обмоток $w_\alpha + w_\beta$ и НР;

$U_{w_\alpha + w_\beta}$ - фазное напряжение, приложенное к виткам обмоток $w_\alpha + w_\beta$;

$U_{w_\alpha + w_\beta}^*$ - фазное напряжение, приложенное к виткам обмоток $w_\alpha + w_\beta$ с учетом несимметрии полных сопротивлений первичных обмоток фаз трансформатора;

I_1 - фазный ток, протекающий в первичной обмотке трансформатора;

Z_0 - полное сопротивление холостого хода трансформатора;

Z_{HP} - полное сопротивление НР;

Z_1, Z_2 - полные сопротивления первичной и вторичной обмоток трансформатора;

Z_A, Z_B, Z_C - полные эквивалентные сопротивления фаз А, В, С преобразовательного агрегата с ТРПУ;

Z_α, Z_β - полные сопротивления РО и СО;

Z_H - полное сопротивление нагрузки.

Расчет фазных напряжений $U_{w_\alpha+w_\beta}$ в несимметричных режимах осуществляется в три этапа:

- производится расчет напряжения смещения нейтрали U_N , вызванного несимметрией полных эквивалентных сопротивлений Z_A, Z_B, Z_C , после чего вычисляются фазные напряжения U_1 ;

- на основе найденных фазных напряжений U_1 , вычисляются фазные напряжения $U_{w_\alpha+w_\beta}$;

- на третьем этапе определяются фазные напряжения первичной обмотки $U_{w_\alpha+w_\beta}$ с учетом степени неравенства числа витков и несимметрии Z_A, Z_B, Z_C .

Далее представлена методика расчета фазных напряжений $U_{w_\alpha+w_\beta}$, на примере режима с одним открытым тиристорным ключом (открыт ТК_A).

1) Используя метод двух узлов для расчета трехфазной цепи со схемой соединения «звезда», вычисляются фазные напряжения U_1 и фазные токи I_1 :

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_N &= \frac{\frac{\dot{U}_A}{Z_A} + \frac{\dot{U}_B}{Z_B} + \frac{\dot{U}_C}{Z_C}}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C}}; \\ Z_A &= Z_{1A}k + \frac{Z_0(Z_2K_\rho^2 + Z_nK_\rho^2)}{Z_0 + Z_2K_\rho^2 + Z_nK_\rho^2}; \\ Z_B &= Z_{1B} + Z_{HP} + \frac{Z_0(Z_2K_\rho^2 + Z_nK_\rho^2)}{Z_0 + Z_2K_\rho^2 + Z_nK_\rho^2}; \\ Z_C &= Z_{1C} + Z_{HP} + \frac{Z_0(Z_2K_\rho^2 + Z_nK_\rho^2)}{Z_0 + Z_2K_\rho^2 + Z_nK_\rho^2}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $K_\rho = K_\beta + \rho K_\alpha$;

$$K_\beta = \frac{w_\beta}{w_2}; K_\alpha = \frac{w_\alpha}{w_2}; \rho = \frac{R_{TK}}{Z_\alpha + Z_{HP} + R_{TK}}.$$

Вычисляется фазное напряжение $\dot{U}_1$ фаз А, В, С и фазные токи первичной обмотки:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{1A} &= \dot{U}_A - \dot{U}_N; \dot{I}_{1A} = \frac{\dot{U}_{1A}}{Z_A}; \\ \dot{U}_{1B} &= \dot{U}_B - \dot{U}_N; \dot{I}_{1B} = \frac{\dot{U}_{1B}}{Z_B}; \\ \dot{U}_{1C} &= \dot{U}_C - \dot{U}_N; \dot{I}_{1C} = \frac{\dot{U}_{1C}}{Z_C}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

2) Вычисляются фазные напряжения $\dot{U}_{w_\alpha+w_\beta}$ с учетом несимметрии полных сопротивлений первичных обмоток фаз трансформатора Z_A, Z_B, Z_C :

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{w_\alpha+w_\beta A} &= \dot{U}_{1A} - \dot{I}_{1A} Z_{1A} k^2; \\ \dot{U}_{w_\alpha+w_\beta B} &= \dot{U}_{1B} - \dot{I}_{1B} Z_{1B} - \dot{I}_{1B} Z_{HP}; \\ \dot{U}_{w_\alpha+w_\beta C} &= \dot{U}_{1C} - \dot{I}_{1C} Z_{1C} - \dot{I}_{1C} Z_{HP}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

3) Фазные напряжения $U_{w_\alpha+w_\beta}$ с учетом несимметрии полных эквивалентных сопротивлений Z_A, Z_B, Z_C и степени неравенства числа витков фаз трансформатора, используя теорему косинусов, будут равны:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{w1A} &= \frac{\sqrt{3}k(\dot{U}_{1A} - \dot{I}_{1A} Z_{1A} k^2)}{n}; \\ \dot{U}_{w1B} &= \frac{(\dot{U}_{1B} - \dot{I}_{1B} Z_{1B} - \dot{I}_{1B} Z_{HP})r}{n}; \\ \dot{U}_{w1C} &= \frac{(\dot{U}_{1C} - \dot{I}_{1C} Z_{1C} - \dot{I}_{1C} Z_{HP})r}{n}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $r = \sqrt{k^2 + k + 1}$; $n = 1 + 2k$.

Методика применима для расчета трехфазных трансформаторов с ТРПУ с пофазным регулированием напряжения..

Список литературы:

1. Фишлер, Я. Л. Трансформаторное оборудование для преобразовательных установок [Текст] / Я. Л. Фишлер, Р. Н. Урманов, Л. М. Пестряева. Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 320 с.
2. Аржанников, Б. А. Устройства регулирования напряжения преобразовательных трансформаторов под нагрузкой: Учеб. пособие / Б. А. Аржанников. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – 101 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Тарасовский Тимофей Сергеевич
Уральский государственный университет
путей сообщения (УрГУПС).
ул. Колмогорова, д. 66, г. Екатеринбург,
620034, Российская Федерация.
Аспирант, ассистент кафедры
«Электроснабжение транспорта» УрГУПС.
Тел.: +7 (962)-317-12-60
E-mail: tar-tima@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Tarasovskiy Timofey Sergeyevich
Ural State University of Railway Transport
(USURT).
66, Kolmogorova st., Ekaterinburg, 620034,
the Russian Federation.
Postgraduate student, T.A. of the department
«Transport Power Supply» USURT.
Phone: +7 (962)-317-12-60
E-mail: tar-tima@yandex.ru

В. А. Кандаев, К. В. Авдеева, А. В. Уткина

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ПОДЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

В статье рассмотрена система, состоящая из тяговой рельсовой сети и двух подземных сооружений, в качестве которых выступают трубопроводы. Проведен анализ влияния блуждающего тока, обусловленного электрифицированным железнодорожным транспортом, на подземные сооружения без дренажной защиты и при ее наличии. Для автоматизации процесса расчета распределения электрических величин в системе было разработано программное обеспечение, позволяющее отслеживать изменения электрических величин в тяговой рельсовой сети и двух трубопроводах при движении локомотивов по участку железной дороги.

Ключевые слова: тяговая рельсовая сеть, блуждающий ток, подземное сооружение, дренажная установка.

Vasilii A. Kandaev, Ksenia V. Avdeeva, Anastasia V. Utkina

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

ANALYSIS OF THE IMPACT OF STRAY CURRENT FROM DC ELECTRIFIED RAILWAY TRANSPORT ON BURIED TRANSPORT STRUCTURES

The paper presents a system consisting of a traction rail network and two buried structures. The analysis of the effect of stray current caused by electrified railway transport on buried structures without protection and with drainage protection was carried out. The program, allowing monitoring the changes of electrical quantities in traction rail network and two buried pipelines at the movement of locomotives on track section, was developed.

Keywords: traction rail network, stray current, buried structure, drainage unit.

Одной из основных проблем электрифицированного железнодорожного транспорта постоянного тока является опасное влияние блуждающих токов на

подземные транспортные сооружения, к которым относятся заземляющие устройства, трубопроводные системы, кабели различного назначения и др.

Рассмотрим влияние блуждающего тока, обусловленного тяговой рельсовой сетью постоянного тока, на транспортные сооружения, в качестве которых выступают два трубопровода. Для решения данной задачи необходимо рассмотреть распределение электрических величин в системе «тяговая рельсовая сеть – подземные сооружения».

Критерием опасного влияния блуждающих токов, при котором возникает коррозионное разрушение, является значение потенциала, наведенного на трубопроводе и измеренного относительно медно-сульфатного электрода сравнения. В соответствии с ГОСТ [1] для обеспечения защиты от коррозии на подземном сооружении необходимо поддерживать защитный потенциал в пределах от минус 0,85 В до минус 3,5 В относительно медно-сульфатного электрода сравнения, расположенного на расстоянии 0,1 м от боковой поверхности сооружения.

Распределение потенциалов, тока и плотности токов утечки с трубопроводов с учетом их взаимного влияния можно определить по формулам, приведенным в [2].

Для защиты подземных сооружений от коррозии, вызванной блуждающими токами, применяют дренажную защиту. С помощью дренажной установки (ДУ) осуществляется отвод блуждающих токов из анодной зоны подземного сооружения в тяговую рельсовую сеть, тем самым осуществляется катодная поляризация подземного сооружения. При многониточной структуре подземных сооружений используют совместную защиту, в качестве которой выступает блок диодно-резисторный (БДР). Распределение потенциалов, тока и плотности токов утечки с трубопроводов при дренажной защите с учетом их взаимного влияния определяется по формулам из [3].

Рассмотрим случай распределения тягового тока в системе, приведенной на рис. 1.

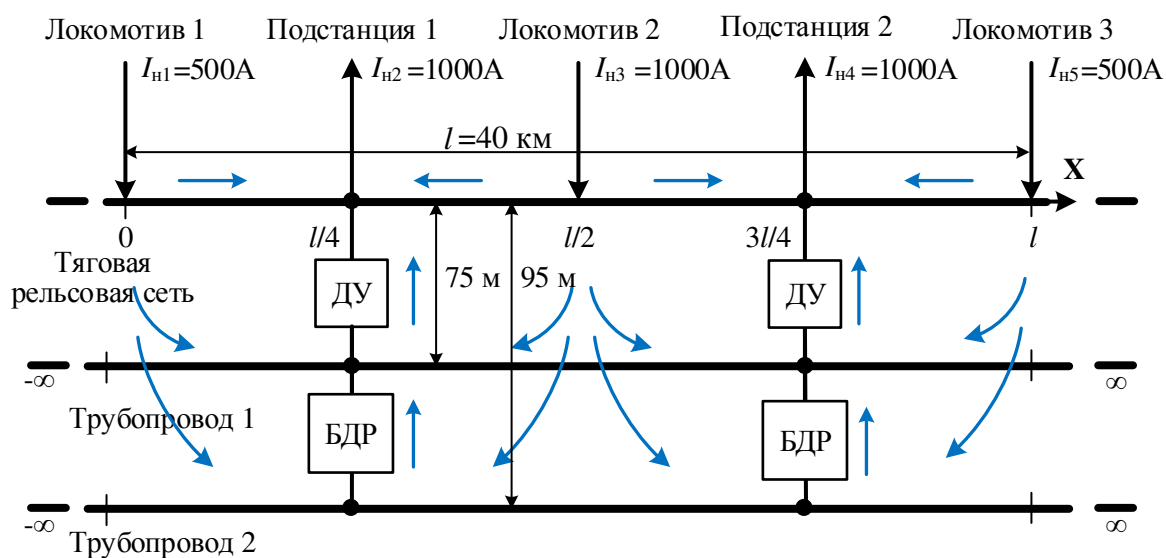


Рис. 1. Участок тяговой рельсовой сети

На рис. 2 – 4 показаны кривые распределения электрических величин в трубопроводах с учетом их взаимного влияния при дренажной защите и без нее.

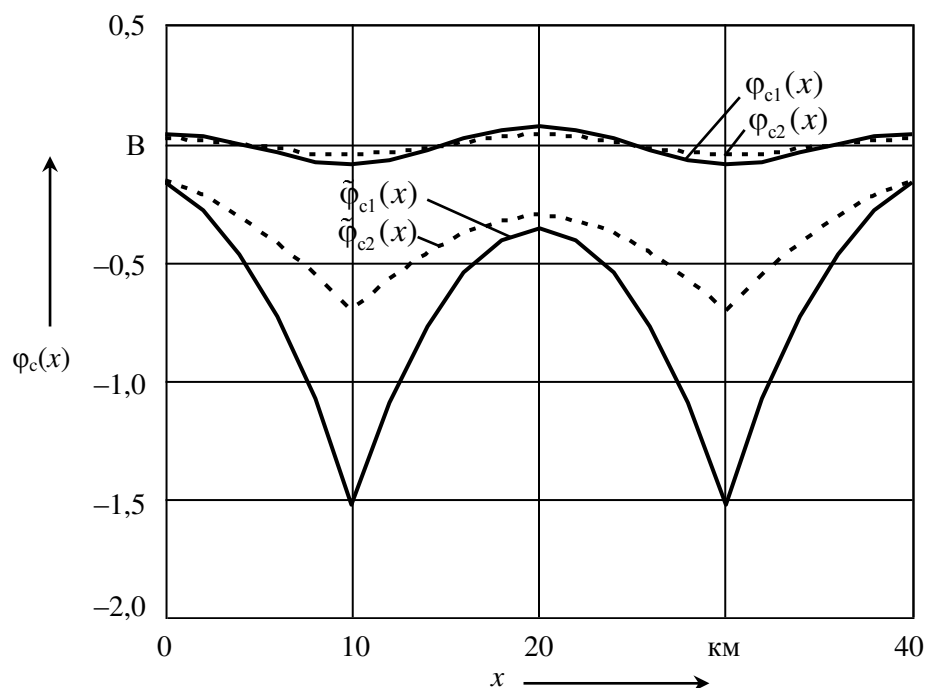


Рис. 2. График распределения потенциалов на сооружениях с дренажной защитой $\tilde{\varphi}_{c1}(x)$, $\tilde{\varphi}_{c2}(x)$ и без нее $\varphi_{c1}(x)$, $\varphi_{c2}(x)$

На рис. 2 видно, что подключение дренажной защиты смещает потенциал сооружений в отрицательную область, минимальное значение потенциалов на сооружениях наблюдается в точках подключения дренажа. Для

рассматриваемого случая до подключения дренажа разность потенциалов между сооружением и медно-сульфатным электродом сравнения в районе тяговых подстанций составляла минус 0,43 В для первого трубопровода и минус 0,35 В для второго трубопровода, что свидетельствует о недостаточной защите. После подключения дренажа указанные значения составили минус 0,87 В для первого трубопровода и минус 0,91 В для второго трубопровода, данные значения входят в зону защитных потенциалов.

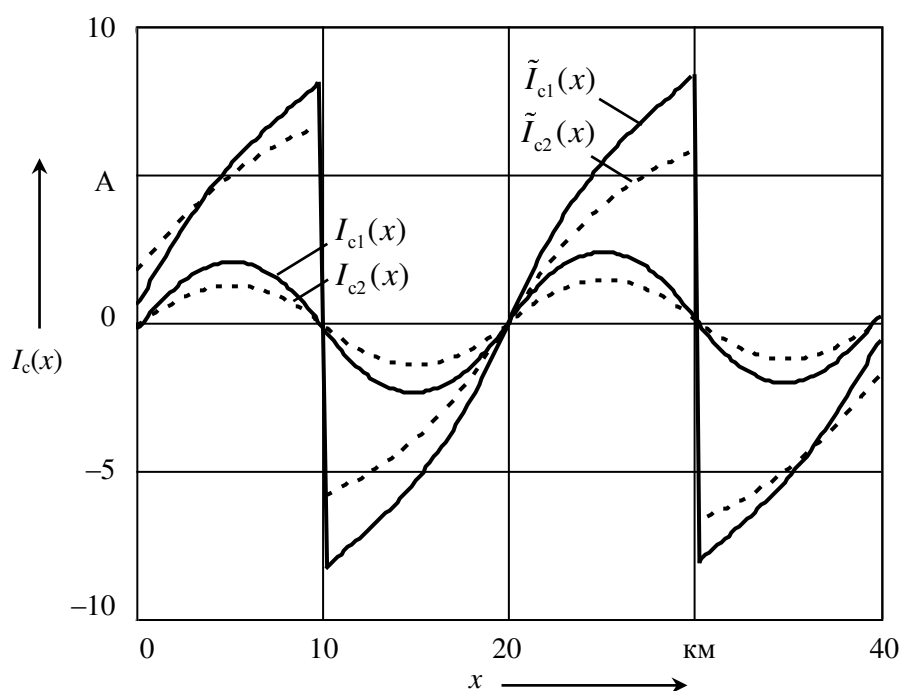


Рис. 3. График распределения токов в сооружениях с дренажной защитой

$\tilde{I}_{c1}(x)$, $\tilde{I}_{c2}(x)$ и без нее $I_{c1}(x)$, $I_{c2}(x)$

На рис. 3 показано, как изменяется распределение токов при подключении дренажной защиты. До подключения дренажа блуждающий ток, который натекает на подземное сооружение, начинал стекать с него на середине участка между локомотивом и тяговой подстанцией, тем самым подвергая его коррозионному разрушению. При правильно подобранном сопротивлении дренажа блуждающий ток, который натекает на подземное сооружение полностью стекает в месте подключения дренажного кабеля. При подключении дренажа плотность токов утечки с сооружений смещается в отрицательную область, т.е. утечка токов с трубопроводов в районе тяговых подстанций прекращается.

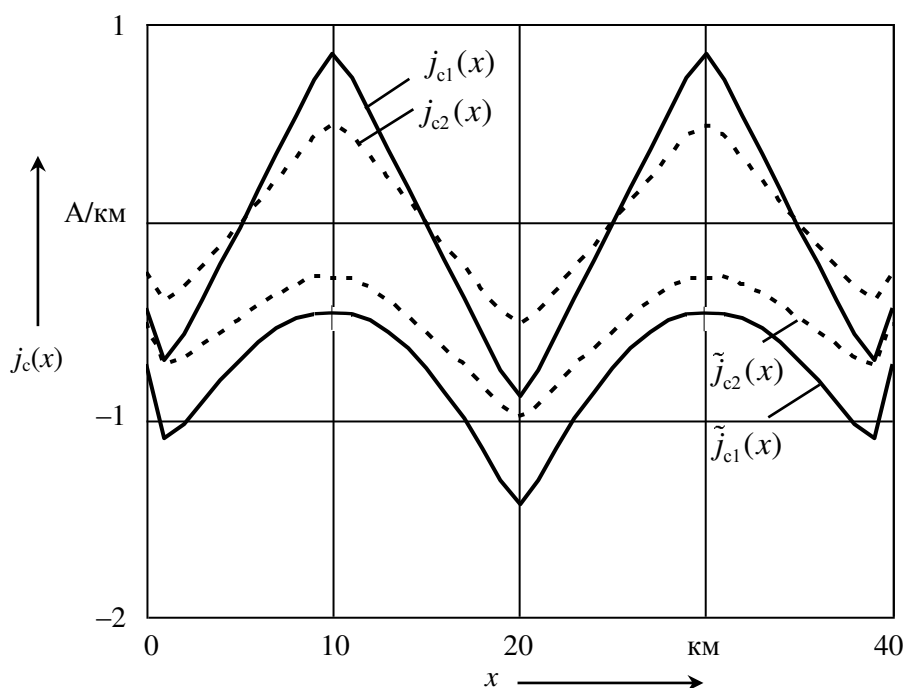


Рис. 4. График распределения плотности токов утечки с сооружений с дренажной защитой $\tilde{j}_{c1}(x)$, $\tilde{j}_{c2}(x)$ и без нее $j_{c1}(x)$, $j_{c2}(x)$

Рассмотрим, как будет меняться потенциал трубопроводов относительно ближней земли при движении второго локомотива от первой подстанции из точки $x = 10$ км ко второй подстанции в точку $x = 30$ км при обычной поляризованной дренажной защите, при совместной защите, и при автоматической дренажной защите (рис. 5). Как видно из рис. 5, при совместной защите потенциал второго трубопровода выходит из зоны защитных потенциалов, что приводит к недостаточной защите трубопровода, тем самым не исключая полностью коррозионный процесс. Автоматическая дренажная защита, напротив, позволяет поддерживать потенциал на трубопроводах в защитных диапазонах на всем участке.

Для автоматизации процесса вычислений было разработано программное обеспечение, позволяющее произвести расчет распределения электрических величин в тяговой рельсовой сети и двух трубопроводах, расположенных параллельно. Исходные данные к расчету задаются в окне, представленном на рис. 6. В окно с исходными данными вводится информация о параметрах тяговой рельсовой сети, трубопроводов и движении поездов на рассматриваемом участке. После нажатия на кнопку «Построить график» появляется второе окно, приведенное на рис. 7. В нем отображаются графики

распределения токов, потенциалов и плотности токов утечки в тяговой рельсовой сети и трубопроводах, а также схематически изображается участок и движение локомотивов вдоль него.

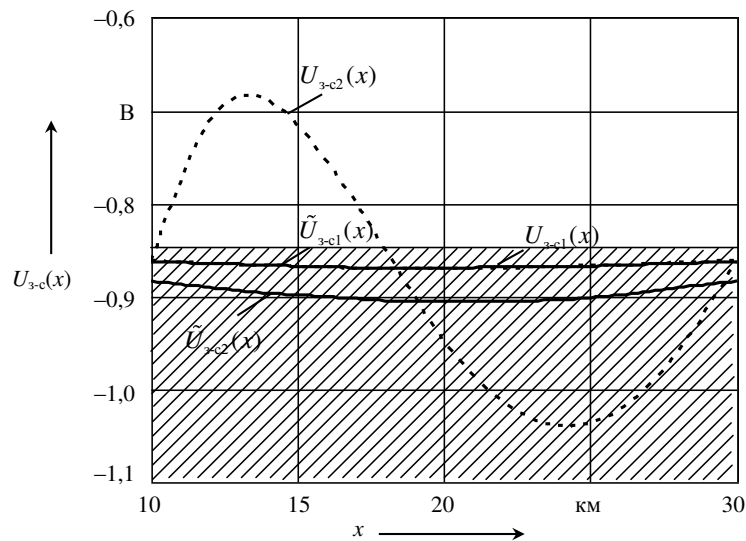
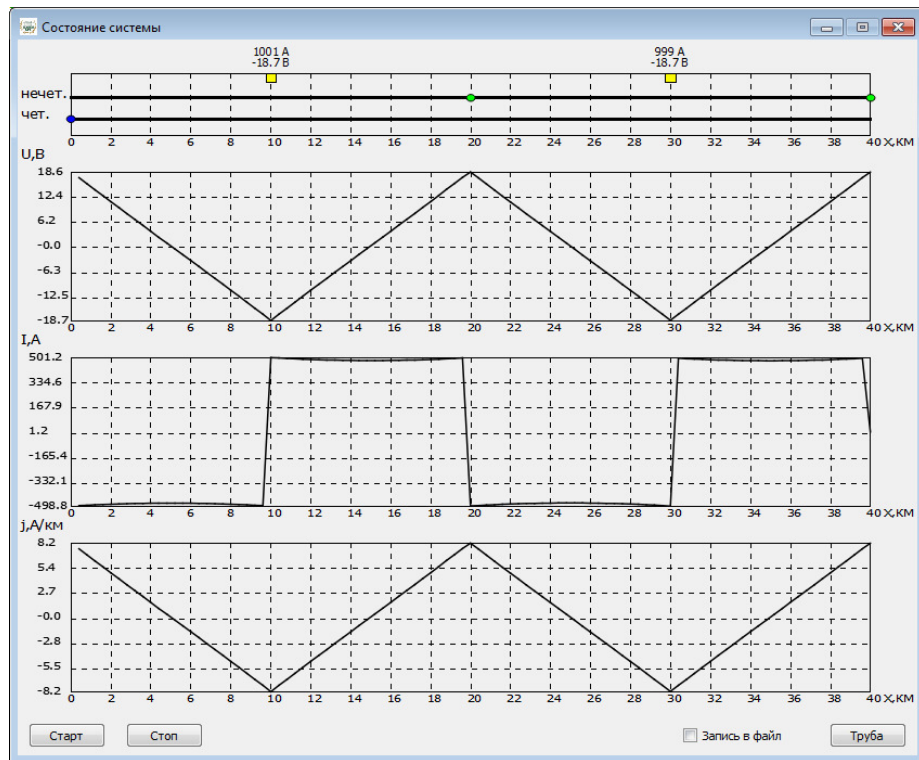


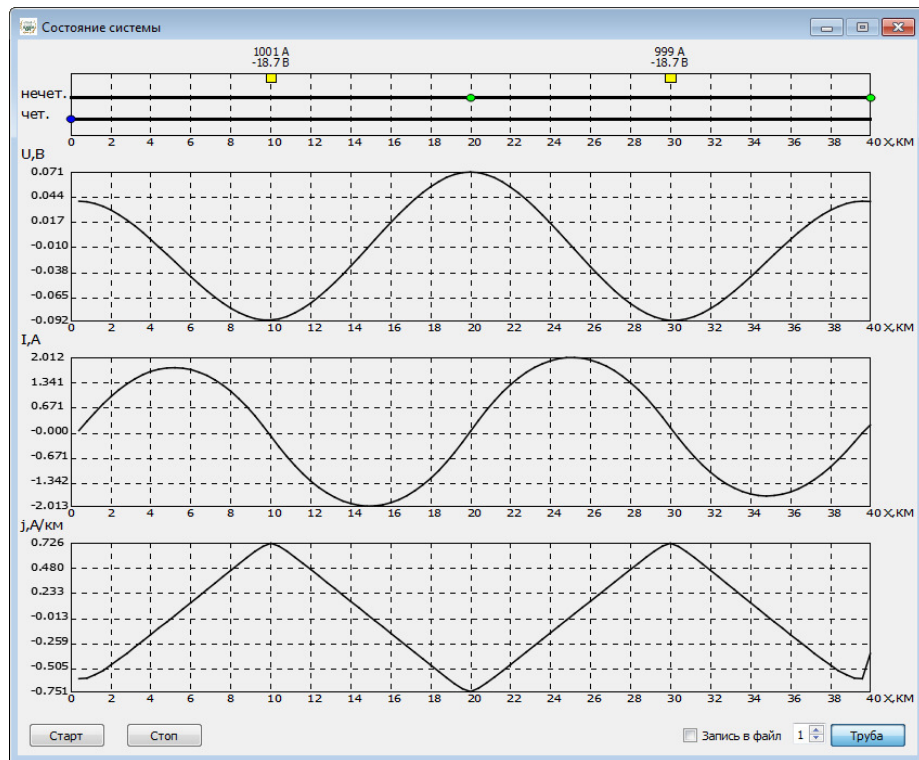
Рис. 5. График распределения разности потенциалов между сооружением и ближайшими слоями земли в точке $x = 10$ км в зависимости от движения второго локомотива при совместной защите $U_{3-c1}(x)$, $U_{3-c2}(x)$ и при автоматической дренажной защите $\tilde{U}_{3-c1}(x)$, $\tilde{U}_{3-c2}(x)$

Скриншот окна для ввода исходных данных. В центре находится схема пути с рельсами, шпалами, балластом, земляным полотном и землей. Справа от схемы — панель «Параметры трубопроводов» с полями для: «Сопrotивление 1 км трубы, Ом*км», «Наружный диаметр, м», «Толщина стенки, мм», «Вести вручную», «Тип защитного покрытия», «Период эксплуатации, лет», «Глубина залегания, м», «Расстояние от рельсов, м», «Переходное сопротивление, Ом*км», «Вести вручную», «Коэффициент утечки тока, 1/км». Внизу — панель «Параметры локомотивов» с полями для: «Нечетное направление», «Четное направление», «Координата нахождения, км», «Ток, А», «Скорость, км/ч». Слева от схемы — панель «Параметры однородной земли» с полем «Удельное сопротивление однородной земли, Ом*м». В центре — панель «Параметры рельсового пути» с полями для: «Сопrotивление 1 км рельсов Ом/км», «Марка рельсов», «Вести вручную», «Тип участка пути», «Эквивалентный радиус рельсов, м», «Вести вручную», «Длина участка пути, км», «Удельное сопротивление», «Шпалы», «Балласт», «Земляное полотно», «Высота земляного полотна, м», «Переходное сопротивление, Ом*км», «Вести вручную», «Коэффициент утечки тока, 1/км». Внизу — панель «Параметры подстанций» с полями для: «Координата нахождения, км». В левом нижнем углу — кнопки «Рассчитать» и «Построить график».

Рис. 6. Окно для ввода исходных данных



a



б

Рис. 7. Окно с графиками изменения электрических величин в динамике в тяговой рельсовой сети (*a*) и первом трубопроводе (*б*)

При нажатии на кнопку «Старт» начинается движение локомотивов с заданной скоростью, изменение электрических параметров отображается на графиках в реальном времени. По нажатию на кнопку «Стоп» движение локомотивов останавливается, и можно увидеть мгновенные значения электрических параметров в обратной тяговой сети.

Анализ влияния блуждающего тока показал, что в месте расположения тяговой подстанции на подземном сооружении наводится потенциал анодной поляризации, величина которого в зависимости от поездной ситуации может оказаться за пределами защитного диапазона, утвержденного нормативной документацией [1]. В таком случае происходит интенсивное разрушение металлического сооружения, и как следствие, быстрый выход его из эксплуатации. Применение автоматической дренажной защиты позволяет поддерживать защитный потенциал на подземном сооружении вне зависимости от положения поездов. Предложенное программное обеспечение позволяет отслеживать изменения электрических величин в тяговой рельсовой сети и двух трубопроводов при движении локомотивов по участку железной дороги. Использование программы значительно сокращает затраты при проектировании средств защиты трубопроводов от коррозии блуждающими токами электрифицированного железнодорожного транспорта, так как отсутствует необходимость проведения полевых измерений на участке.

Список литературы

1. ГОСТ 9.602 – 2016. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные // Общие требования к защите от коррозии. Дата ввода 01.06.2017.
2. Кандаев, В. А. Распределение токов и потенциалов в системе подземных сооружений в поле блуждающих токов [Текст] / В. А. Кандаев, К. В. Авдеева, А. В. Уткина, А. А. Медведева // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2016. – № 2(26). – С. 78 – 91.
3. Авдеева, К. В. Распределение электрических величин в системе из двух подземных сооружений при дренажной защите от блуждающих токов электрифицированного железнодорожного транспорта [Текст] / К. В. Авдеева, А. В. Уткина // Вестник РГУПС / Ростовский гос. ун-т путей сообщения. – Ростов-на-Дону. – 2018. – № 1(69). – С. 111 – 119.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кандаев Василий Андреевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети» ОмГУПС.

ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812)31-06-94.

Авдеева Ксения Васильевна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети» ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812)31-06-94.

Уткина Анастасия Владимировна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Аспирант кафедры «Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети» ОмГУПС.

Тел: 8-908-800-32-75.

E-mail: a.utkina.e@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kandaev Vasilii Andreevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Telecommunication and radio systems and networks» OSTU.

Phone: +7 (3812)31-06-94.

Avdeeva Ksenia Vasilyevna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the department «Telecommunication and radio systems and networks» OSTU.

Phone: +7 (3812)31-06-94.

Utkina Anastasia Vladimirovna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Post-graduate student of the department «Telecommunication and radio systems and networks» OSTU.

Phone: 8-908-800-32-75.

E-mail: a.utkina.e@gmail.com.

О. А. Сидоров, А. А. Орлов, А. И. Слатин, М. С. Михайлов

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТОКОСЪЕМА ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ

В статье приведены особенности работы ранее известного полоза токоприемника электроподвижного состава. На основе анализа недостатков известного схемного решения предложена новая конструкция полоза токоприемника, обеспечивающего повышение надежности токосъема при высоких скоростях движения за счет исключения резонансных явлений при отработке вертикальных воздействий со стороны контактной подвески.

Ключевые слова: полз, токоприемник, упругие элементы, резонанс, виброгасящий материал, пластины.

Oleg A. Sidorov, Alexander A. Orlov, Mikhail S. Mikhaylov

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

WAYS TO INCREASE RELIABILITY OF CURRENT COLLECTION AT HIGH MOVEMENT SPEEDS

The article presents the features of the work of the previously known electric rolling stock current collector. Based on the analysis of the deficiencies of the known circuit design, a new design of a current collector skid is proposed, providing improved reliability of current collection at high speeds by eliminating resonant phenomena when developing vertical influences from the side of the overhead catenary.

Keywords: bow, current collector, rubber-cord elements, resonance, dumping material, bases.

Развитие электрического транспорта сопровождается увеличением скоростей движения [1]. При высоких скоростях на качество токосъема усиливается влияние таких факторов, как аэродинамическое воздействие, динамическое воздействие со стороны контактной подвески и жестких токопроводов, расширение амплитудно-частотного воздействия со стороны кузова электроподвижного состава. Особенности указанных явлений характерны для монорельсовых систем и метрополитенов, использующих жесткий токопровод. При таких конструкциях частота собственных колебаний может совпадать с частотой вынужденных колебаний, что приводит к резонансу, а он, в свою очередь, вызывает такие последствия, как электрическая дуга, удары, изломы и т.д. Для гибкой контактной подвески, использующей контактный провод, это не несет каких-то

дополнительных аэродинамических нагрузок за счет формирования воздушной подушки между проводом и контактным элементом. А для жестких токоприемников, имеющих развитую геометрическую поверхность рабочей части, это весьма существенно. В таких случаях между контактным элементом и токопроводом может возникать избыточное воздушное давление, которое приводит к вибрациям, отрывам и интенсивному искрению.

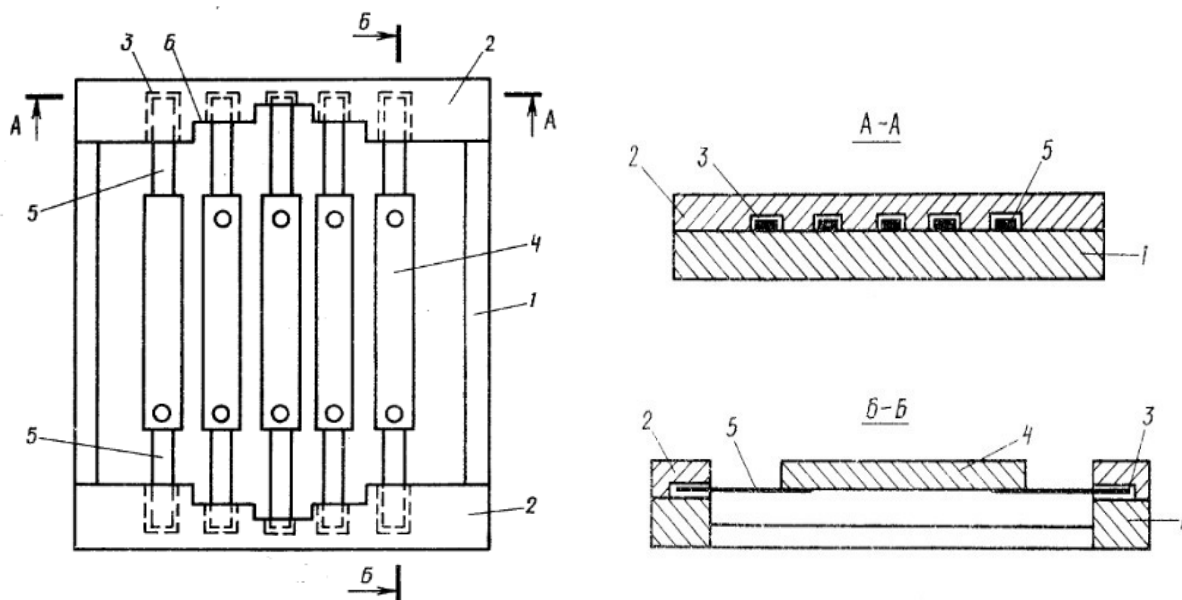


Рис. 1. Известный полз токоприемника электроподвижного состава

Существующий полз токоприемника электроподвижного состава [2] представлен на рис. 1. На сторонах каркаса 1, параллельных контактному проводу, установлены две фиксирующие планки 2, снабженные односторонними глухими пазами 3, между которыми установлены токосъемные пластины 4, каждая из которых обрессорена двумя упругими элементами 5, выполненными в виде листовых пружин, одни концы которых жестко связаны с соответствующими токосъемными пластинами 4, а другие с зазором по вертикали и горизонтали установлены в пазах 3 фиксирующих планок 2, при этом фиксирующие планки 2 со стороны крепления листовых пружин выполнены ступенчатыми в плане и симметричными относительно контактного провода. Количество пазов 3 и ступеней 6 на каждой фиксирующей планке 2 равно количеству токосъемных пластин 4, а размеры ступеней 6 вдоль оси токосъемных пластин 4 выбраны из условия устранения полного резонанса полза.

Принцип работы данного полза следующий. С увеличением скоростей движения расширяется амплитудно-частотный диапазон возмущающих

воздействий на полз токоприемника со стороны контактного провода, так как частота колебаний токосъемных пластин зависит от скорости движения и длины пролета. За счет того, что упругие элементы, выполненные в виде листовых пружин 5, установлены в ступенчатой фиксирующей планке 2, их жесткость, приведенная к точке закрепления на токосъемной пластине 4, имеет различную величину.

При этом собственная частота колебаний токосъемных пластин 4 становится различной что исключает их одновременный резонанс и, следовательно, возможность одновременного отрыва от контактного провода.

Полз токоприемника исключает одновременный отрыв контактных пластин от контактного провода, что обеспечивается различной жесткостью токосъемных пластин. Из известной формулы:

$$k = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

где k — частота собственных колебаний; c — жесткость упругих элементов подрессоривания; m — масса полза.

Из формулы видно, что частота собственных колебаний системы зависит от жесткости c и массы m .

Недостатком данного полза можно отнести то, что листовые пружины свободно лежат на поверхностях элементов каркаса и установлены с зазором относительно внутренних поверхностей пазов, поэтому при колебаниях токосъемных элементов неизбежно возникают периодические удары, вибрации и дребезг, генерируемые листовыми пружинами, что приводит к возникновению паразитных колебаний токосъемных элементов, а также изнашиванию листовых пружин и поверхностей каркаса, с которыми они соприкасаются. Указанные паразитные колебания влияют на динамические характеристики полза, что вызывает увеличение амплитуды контактного нажатия токоприемника, и, следовательно, способствует появлению искрения в контакте и увеличению изнашивания токосъемных элементов и контактного провода. Указанные недостатки могут приводить к ситуации, когда частотный диапазон колебаний токосъемных элементов значительно расширяется и перекрывает диапазон частот соседних элементов. При этом возникает опасность входа в резонанс всех токосъемных элементов, что ведет к неизбежному появлению дугообразования и полз перестает выполнять функции защиты от одновременного входа в резонанс.

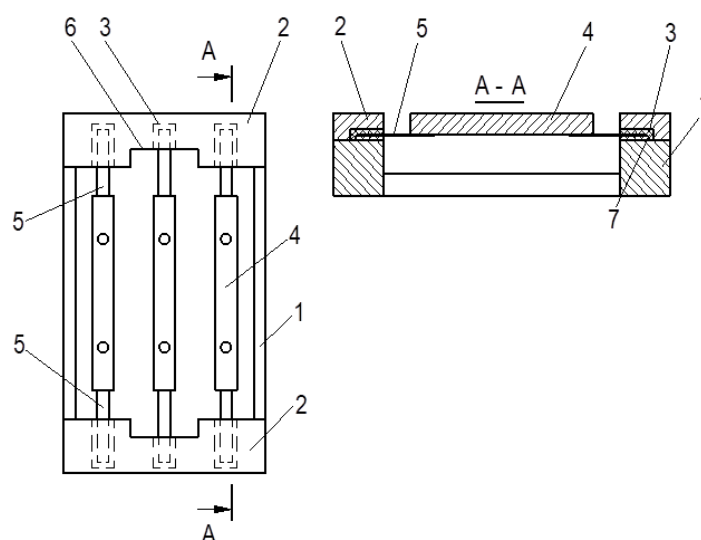


Рис. 2. Предлагаемый полз токоприемника электроподвижного состава

Данный недостаток устраняется с помощью предлагаемой конструкции полззз токоприемника электроподвижного состава [3], содержащего токосъемные элементы 4, закрепленные на листовых пружинах 5, концы которых с зазором по вертикали и горизонтали установлены в пазах 3 фиксирующих планок 2 каркаса 1, при этом пазы 3 на фиксирующих планках 2 выполнены ступенями 6 симметрично относительно поперечной оси каркаса 1. Зазоры между листовыми пружинами 5 и внутренними поверхностями пазов 3 заполнены термостойким виброгасящим материалом 7 (рис. 2).

Виброгасящий материал 7 (например, термостойкая резина) обеспечивает устранение колебаний листовых пружин 5 относительно поверхностей пазов 3 и позволяет осуществлять эффективное гашение их колебаний, а также устраняет удары и вибрации. Кроме того, наличие упругого виброгасящего материала 7 в пазах каркаса 3 дает листовым пружинам 5 возможность упругой самоустановки относительно первоначального положения при крутильных колебаниях токосъемных элементов 4, что позволяет обеспечивать более эффективный контакт плоскостей токосъемных элементов 4 с токопроводом.

Указанные преимущества обеспечивают высокую стабильность нажатия за счет реализации расчетной динамической характеристики, что непосредственно влияет на надежность работы и ресурс токосъемных элементов и токопровода.

Список литературы

1. Сидоров, О. А. Методы исследования износа контактных пар устройств токосъема монорельсового электрического транспорта [Текст] / О. А. Сидоров, С. А. Ступаков // Монография / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2009. –154 с.

2. Полоз токоприемника электроподвижного состава [Текст]: пат. 1188019 СССР, МКИ В 60 L 5/00. / В. М. Павлов, О. А. Сидоров, В. П. Михеев; заявитель и патентообладатель Омский институт инженеров железнодорожного транспорта. – № 3735665/22-11; заявл. 25.04.1984; опубл. 30.10.1985, Бюл. № 40.

3. Полоз токоприемника электроподвижного состава [Текст]: пат. 181838 Рос. Федерация, МПК В 60 L 5/00. / О. А. Сидоров, И. Е. Чертков, А. А. Орлов, А. И. Слатин; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. – № 2018113566, заявл. 13.04.2018; опубл. 26.07.2018, бюл. № 21.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сидоров Олег Алексеевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Профессор кафедры «Электроснабжение
железных дорог» ОмГУПС.
Тел.: (3812) 31-34-46.
E-mail: sidorovoa@omgups.ru

Орлов Александр Андреевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроснабжение
железных дорог» ОмГУПС.
Тел.: 8-923-688-94-74
E-mail: orlov.omgups@gmail.com

Слатин Анатолий Игоревич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроснабжение
железных дорог» ОмГУПС.
Тел.: –
E-mail: aysn@yandex.ru

Михайлов Михаил Сергеевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,
Российская Федерация.
Студент кафедры «Электроснабжение
железных дорог» ОмГУПС.
Тел.: 8-999-495-19-52

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sidorov Oleg Alexeevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Professor at the Department of «Power supply of
railway» OSTU.
Phone: (3812) 31-34-46.
E-mail: sidorovoa@omgups.ru

Orlov Alexander Andreevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Postgraduate student at the Department of
«Power supply of railway» OSTU.
Phone: 8-923-688-94-74
E-mail: orlov.omgups@gmail.com

Slatin Anatoliy Igorevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Postgraduate student at the Department of
«Power supply of railway» OSTU.
Phone: –
E-mail: aysn@yandex.ru

Mikhaylov Mikhail Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Student at the Department of «Power supply of
railway» OSTU.
Phone: 8-999-495-19-52

А. М. Худоногов, Е. Ю. Дульский, П. Ю. Иванов

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС),
г. Иркутск, Российская Федерация

ЗОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРЕДЕЛЬНО НАГРУЖЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

В статье рассмотрены особенности распределения эксплуатационных факторов, влияющих на надежность работы электровозов. В частности, рассмотрено распределение климатических зон по Восточному полигону обращения. Указано распределения по годовым значениям температуры, влажности и осадков.

Ключевые слова: надежность, климат, Восточный полигон.

Anatoliy M. Khudonogov, Evgeny Yu. Dulskiy, Pavel Yu. Ivanov

Irkutsk State Transport University (ISTU), Irkutsk, the Russian Federation

ZONAL PECULIARITIES DISTRIBUTION OF OPERATIONAL RELIABILITY IS EXTREMELY LOADED EQUIPMENT OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

The article describes the features of the distribution of operational factors affecting the reliability of electric locomotives. In particular, the distribution of climatic zones on the Eastern polygon of circulation is considered. Distributions by annual values of temperature, humidity and precipitation are indicated.

Keywords: reliability, the climate, the Eastern polygon.

Железнодорожный транспорт в Российской Федерации имеет исключительно большое значение в жизнеобеспечении многоотраслевой экономики и реализации социально значимых услуг по перевозке пассажиров. На его долю приходится более 75 % грузооборота и 40 % пассажирооборота, выполняемого транспортом общего пользования.

Процессы развития научно-технического прогресса являются решающим фактором повышения эффективности железнодорожного транспорта и, в частности, электроподвижного состава в современных условиях, что имеет ряд особенностей, связанных с новыми экономическими отношениями в стране, с изменяющимися объемами перевозок. Остро встала проблема снижения

эксплуатационных расходов, в том числе уменьшения затрат на внеплановые ремонты тягового подвижного состава, экономии электроэнергии. На первый план выдвигаются задачи по внедрению ресурсосберегающих технологий и технических средств.

Одной из важнейших проблем железнодорожного транспорта страны является необходимость обеспечения надежной и безопасной работы тягового подвижного состава. При этом наиболее уязвимым элементом тягового подвижного состава является силовое оборудование. В свою очередь особое внимание необходимо уделять надежной работе тяговых двигателей, отказы которых главным образом зависят от безотказной работы изоляции.

Применительно к границам даже одной Восточно-Сибирской железной дороги степень повреждаемости изоляции тяговых двигателей на электровозах при эксплуатации их в зонах обращения, условно разделённых на «север» – «центр» и «юг», различается в 2-4 раза.

На рис. 1 приведено изменение параметра потока отказов тяговых двигателей по зонам эксплуатации в границах двух дорог.

Оценить техническое состояние локомотивов и определить надежность их в работе представляется возможным только на основе соответствующего анализа. Проведённый анализ надёжности электровозов показывает, что отказы силового оборудования по условным зонам эксплуатации распределяются неравномерно.

Для анализа зональных особенностей Восточного полигона по территориальным признакам были рассмотрены Восточно-Сибирская железная дорога (ВСЖД), Красноярская железная дорога (КрЖД), Забайкальская железная дорога (ЗабЖД).

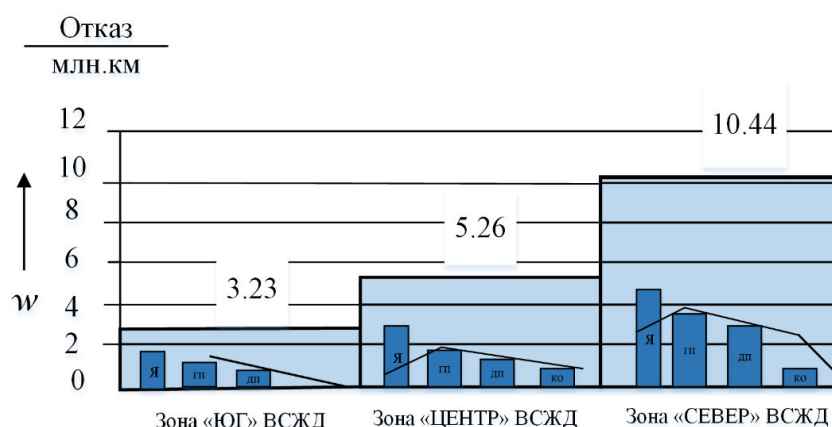


Рис. 1. Изменение параметра потока отказов ТД по зонам эксплуатации за 2017

Г.

Для наиболее качественной оценки зональных особенностей влияния климатических факторов Восточного полигона на работу силового оборудования электровозов каждую из рассматриваемых дорог условно разобьем на три части: север, центр и юг (рис. 2) [1].

Рассмотрим особенности изменения средних значений температуры воздуха на рассматриваемых участках (рис. 3).



Рис. 2. Выбор климатических зон Восточного полигона обращения электровозов по территориальным признакам

На КрЖД максимальные отрицательные средние значения температуры в январе приходятся на участке Красноярск, положительные в Абакане (18°C в июле). На ВСЖД максимальные отрицательные средние значения на участок Таксимо (-34°C в январе) также в Усть-Илимске (-28.9°C), минимальные отрицательные значения в Зиме (-0.2°C в октябре), положительные значения температуры воздуха составило в Улан-Удэ (20.1°C), затем в Тайшете (18.9°C). На ЗабЖД максимальные отрицательные средние значения температуры воздуха составило -25°C на участке Чита и далее на северные участки ЗабЖД,

максимальные положительные составило в Забайкальске (19 °С в июле), затем в Магоче (18 °С).

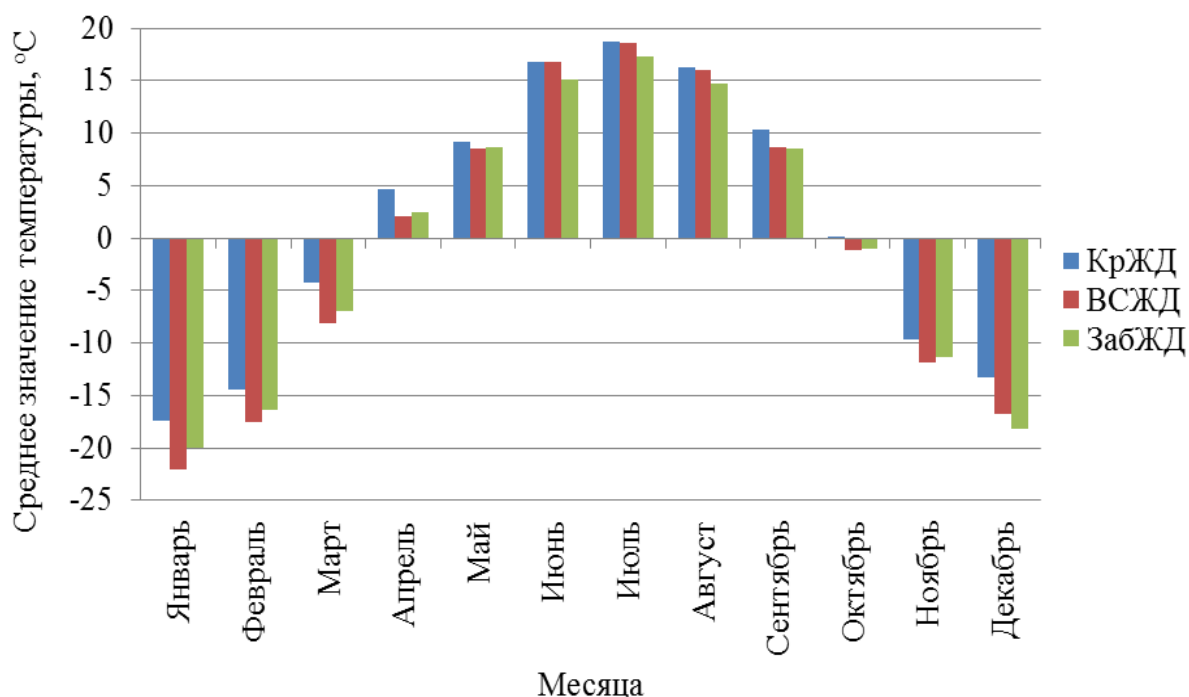


Рис. 3. Гистограмма средних значений температуры воздуха на Восточном полигоне по климатическим зонам за 2012-2017 гг.

В апреле и октябре на всех рассматриваемых участках наблюдаются разнознаковые значения температур, что может негативно сказываться на изоляцию силового оборудования электровозов. При этом минимальная разность температур между обмоткой силового оборудования и окружающей средой, обеспечивающая защиту обмотки от действия влаги составляет 6-10 °С, а поддержание постоянного превышения температуры в обмотках электродвигателя над окружающей средой препятствует увлажнению изоляции обмоток. Но уже при простое в течение одного часа происходит процесс увлажнения изоляции, вследствие чего снижается электрическое сопротивление. А в ожидании работы локомотив может простаивать более трёх часов. В условиях низких температур и высокой влажности, что характерно для рассматриваемых участков, скорость этих процессов может увеличиваться в несколько раз [1].

Особенно вредно действует холод, периодически чередующийся с положительной температурой, как бывает при прохождении электровозов в зимние периоды времени по тоннелям, где температура окружающего воздуха,

как правило, держится положительной. При значительных колебаниях температуры на поверхности и внутренних частях покровной изоляции конденсируется влага, которая абсорбируется через микрокапилляры и проникает в изоляционные поры и трещины. При низкой температуре влага, заполнившая поры и трещины в изоляции, замерзает и, расширяясь, примерно на 10% в объеме, вызывает дальнейшее увеличение трещин и пор, что впоследствии приводит к электрическому пробое.

Воздух всегда содержит известное количество воды в виде водяных паров, но их количество чрезвычайно изменчиво. Оно увеличивается и уменьшается в зависимости от температуры воздуха и количество воды, которое в состоянии воспринять воздух, изменяется с температурой. Холодный воздух требует для своего насыщения смены погоды количества воды, чем теплый воздух. Этим вызываются большие колебания в степени насыщения воздуха в зависимости от времени дня и года. На рис. 4 представлена гистограмма средних суммарных годовых значений влажности на Восточном полигоне по климатическим зонам.

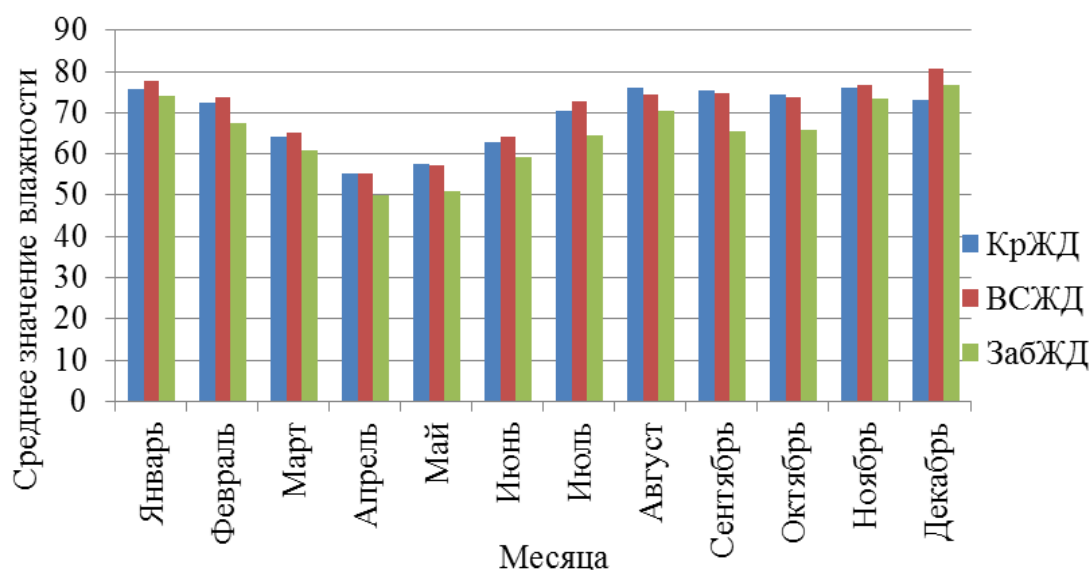


Рис. 4. Гистограмма средних суммарных годовых значений влажности на Восточном полигоне по климатическим зонам за 2012-2017 гг.

Влажность в большой степени зависит и от количества выпавших осадков. Что касается распределения осадков по климатическим зонам, то максимум в основном приходится на Красноярскую железную дорогу, показано на рис. 5. Наиболее засушливыми районами является Забайкальский район, где

среднее значение годового количества осадков в два раза меньше чем в центральных.

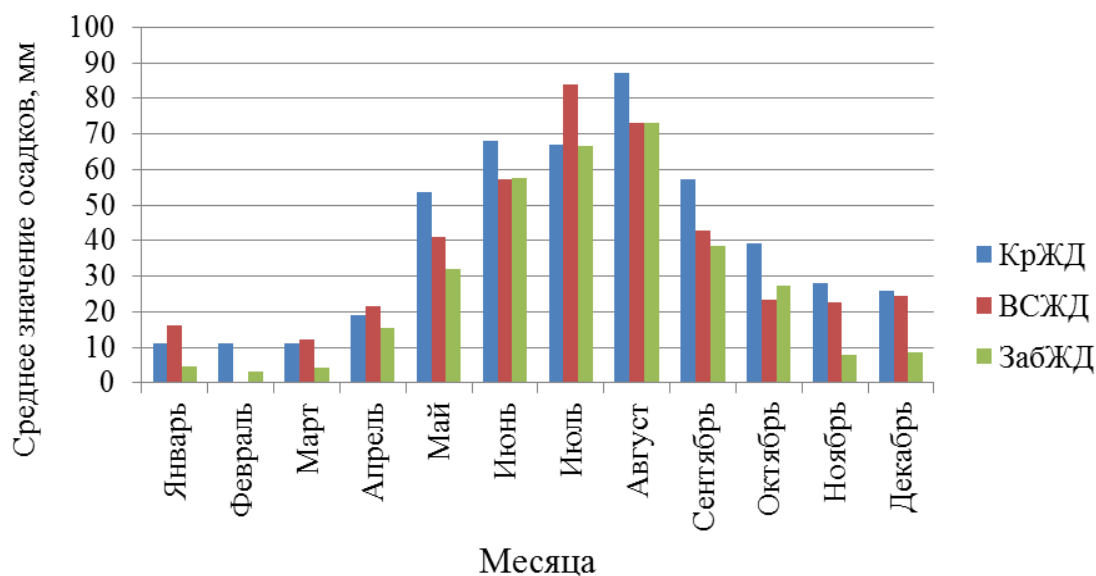


Рис. 5. Гистограмма средних значений суммарных годовых осадков на Восточном полигоне по климатическим зонам за 2012-2017 гг.

Вопросам увлажнения изоляции силового оборудования электровозов всегда уделялось и уделяется большое внимание. Особенно большое внимание вопросам влагостойкости электрической изоляции уделяется в связи с развитием железнодорожного транспорта и как следствие, с ростом отказов силового оборудования электровозов из-за пробоя изоляции.

Силовое оборудование электровозов по характеру своей работы значительную часть года находятся в условиях высокой влажности. Влага проникает в поры и капилляры изоляции, ухудшая её диэлектрические свойства. Даже вновь изготовленная и пропитанная изоляция поглощает влагу не хуже старой изоляции.

Значительное количество осадков в совокупности с недостатками систем вентиляции охлаждения тяговых двигателей электровозов приводит к тому, что влага оседает непосредственно на поверхности изоляции, что видно из рис. 6.

При этом с большей долей вероятности может произойти резкое увлажнение изоляции, что в свою очередь, приведет к электрическому пробую.

Проникновение влаги в изоляцию, как показали исследования [2], может одновременно происходить на нескольких уровнях: на молекулярном,

межмолекулярном и капиллярном. Последний из них представляет наибольший интерес, так как в большинстве систем изоляции, применяемых в конструкции электрического оборудования, особенно после длительной их эксплуатации, образуются поры, микрополости и сквозные каналы. Возникновение их обусловлено главным образом недостатками существующей технологии ремонта изоляции с использованием конвективных электрических печей.



Рис. 6. Наличие снега в районе коллекторно-щеточного узла и магнитной системы тягового электродвигателя

Учитывая изложенное, видно, что при совокупном воздействии всех климатических факторов в определённой степени ухудшается основной показатель надёжности изоляции – диэлектрические свойства. Климатические факторы определяются годовыми, сезонными, суточными колебаниями температуры и относительной влажности воздуха, а также количеством дней и интенсивностью выпадения осадков в виде снега, дождя и т.п. Таким образом, для осуществления необходимого уровня надёжности работы силового оборудования электровозов необходимо применять более эффективные и совершенные методы и средства упрочнения изоляции.

Список литературы

1. Dulskiy, E. Y. The construction of intelligent detection system for railway track / E. Y. Dulskiy, P. Y. Ivanov, A. M. Hudonogov, I. O. Lobicin // Proceedings of the 6th International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway ISMR 2018. – Copyright© 2018. – Pp 49-56.

2. Дульский, Е. Ю. Исследование эффективности конвективного и терморadiационного методов капсулирования изоляции обмоток при ремонте электрических машин тягового подвижного состава / Е. Ю. Дульский, Н. С. Доценко, Е. М. Лыткина // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2014. – № 1(17). – С. 14 – 19.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Худоногов Анатолий Михайлович

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).

Чернышевского 15, г. Иркутск 664074,

Российская Федерация.

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроподвижной состав» ИрГУПС.

Тел.: +7 (914) 881-46-75

E-mail: a.hudonogov@yandex.ru

Дульский Евгений Юрьевич

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).

Чернышевского 15, г. Иркутск 664074,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроподвижной состав» ИрГУПС.

Тел.: +7 (983) 403-46-43

E-mail: E.Dulskiy@mail.ru

Иванов Павел Юрьевич

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС).

Чернышевского 15, г. Иркутск 664074,

Российская Федерация.

доцент кафедры «Электроподвижной состав» ИрГУПС.

Тел.: +7 (950) 065-21-77

E-mail: savl.ivanov@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Khudonogov Anatoly Mikhailovich

Irkutsk State Transport University (ISTU).

Chernyshevskogo 15, Irkutsk 664074,

Russian Federation.

Doctor of Technical Sciences, Professor the Subdepartment of «Electric Stock» ISTU.

Phone.: +7 (914) 881-46-75

E-mail: a.hudonogov@yandex.ru

Dulsky Evgeny Yurievich

Irkutsk State Transport University (ISTU),

Chernyshevskogo 15, Irkutsk 664074,

Russian Federation.

Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., the Subdepartment of «Electric Stock» ISTU.

Phone.: +7 (983) 403-46-43

E-mail: E.Dulskiy@mail.ru

Ivanov Pavel Yurievich

Irkutsk State Transport University (ISTU),

Chernyshevskogo 15, Irkutsk 664074,

Russian Federation.

Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., the Subdepartment of «Electric Stock» ISTU.

Phone.: +7 (950) 065-21-77

E-mail: savl.ivanov@mail.ru

А. Энх-Амгалан

Локомотивное депо Улан-Батор, АО «УБЖД», г. Улан-Батор, Монголия

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОГЛАСОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ВНЕШНЕГО И ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ УЛАН-БАТОРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

Рассмотрено современное состояние Уланбаторской железной дороги. Приведены перспективные показатели работы железных дорог. Выбраны параметры системы тягового электроснабжения.

Ключевые слова: железная дорога, электрификация, тяга.

Altangerel Enkh-Amgalan

Loc-depot of Ulaanbaatar, JSC «UBTZ», Ulaanbaatar, Mongolia

**BASIC PROVISIONS OF THE AGREEMENT OF THE SYSTEM OF
EXTERNAL AND TRAFFIC ELECTRICAL SUPPLY IN THE
ELECTRIFICATION OF ULAN-BATOR RAILWAY**

The current state of the Ulanbator railways is considered. Shows promising performance of the railways. Selected parameters of the system traction power supply.

Keywords: railway, electrification, traction.

Монголо-Российское Акционерное общество Улан-Баторская железная дорога (далее – АО «УБЖД») является акционерным обществом с равными долями вноса участников с Российской и Монгольской стороны в уставный капитал общества. С Российской стороны акционером компании является Федеральное агентство железнодорожного транспорта.

На рис. 1 представлена Государственная политика в области железнодорожного транспорта [2]. В числе основных проектов рассматривается модернизация и развитие участка Сухэ-Батор – Сайншанд–Замын-Уд (1,1 тыс. км), включающего электрификацию и строительство второго пути.

Участок Сухэ-Батор–Сайншанд–Замын-Уд это главная магистраль Улан-Баторской железной дороги (Транс-Монгольская магистраль).

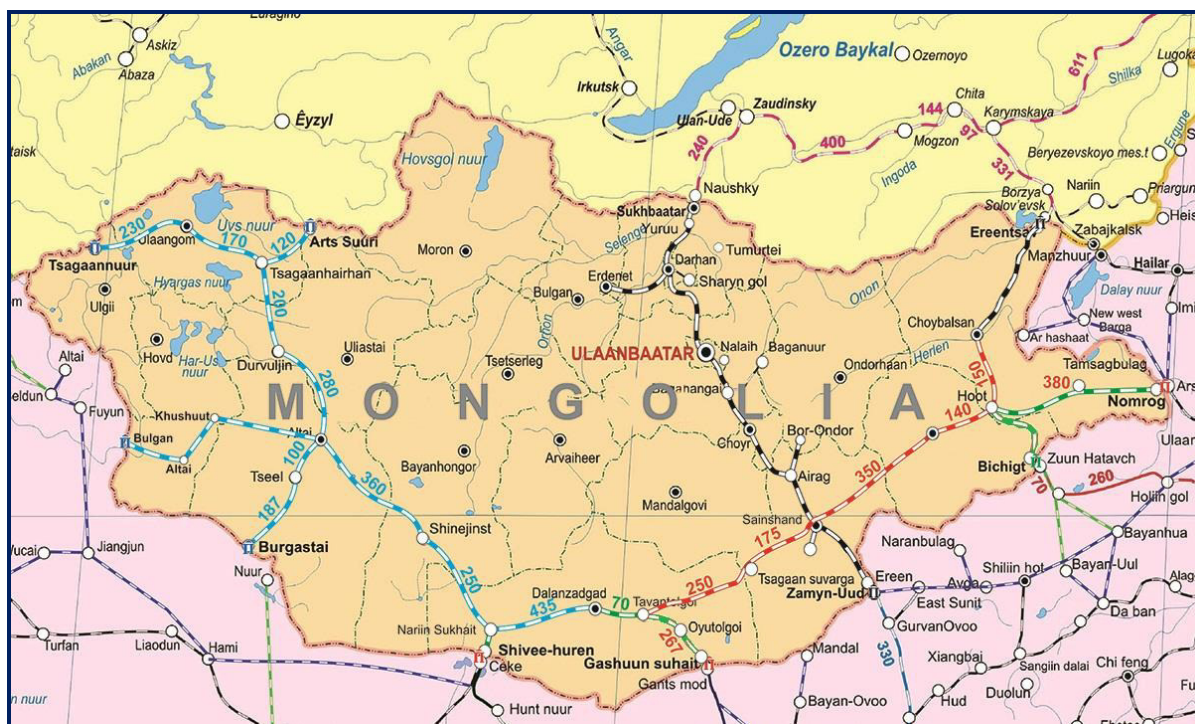


Рис. 1. Государственная политика в области железнодорожного транспорта.

- ■ ■ ■ ■ - Существующая железная дорога (УБЖД)
- ■ ■ ■ ■ - I этап – около 1100 км;
- ■ ■ ■ ■ - II этап – около 900 км;
- ■ ■ ■ ■ - III этап – около 3600 км .

Прогноз объема перевозок на железных дорогах Монголии показывает, что в 2020 году ожидается увеличение объемов перевозок (рис. 2). По минимальному варианту (1 вариант) развития к 2020 г. по прогнозу объем перевозок составит 34,6 млн. тонн. При этом планируется увеличение международных перевозок грузов за счет развития экспортного потенциала Монголии и наращивания экспортных поставок, главным образом, продукции горнорудной промышленности Монголии: наращивание добычи на железорудных месторождениях Баянгол, Тумуртей, Баргилт и существующий транзитным объем. По среднему варианту (2 вариант) развития к 2020 г. по прогнозу объем перевозок составит 48,2 млн. тонн в год.

Прирост объемов грузовых перевозок по сети АО «УБЖД» будет обусловлен, динамичным приростом перевозок экспортоориентированной продукции добывающей промышленности: на начальных этапах разработки угольных месторождений Тавантолгой и Овоот, а также железорудного месторождения Мон-Дулаан и возрастающий транзитный объем.

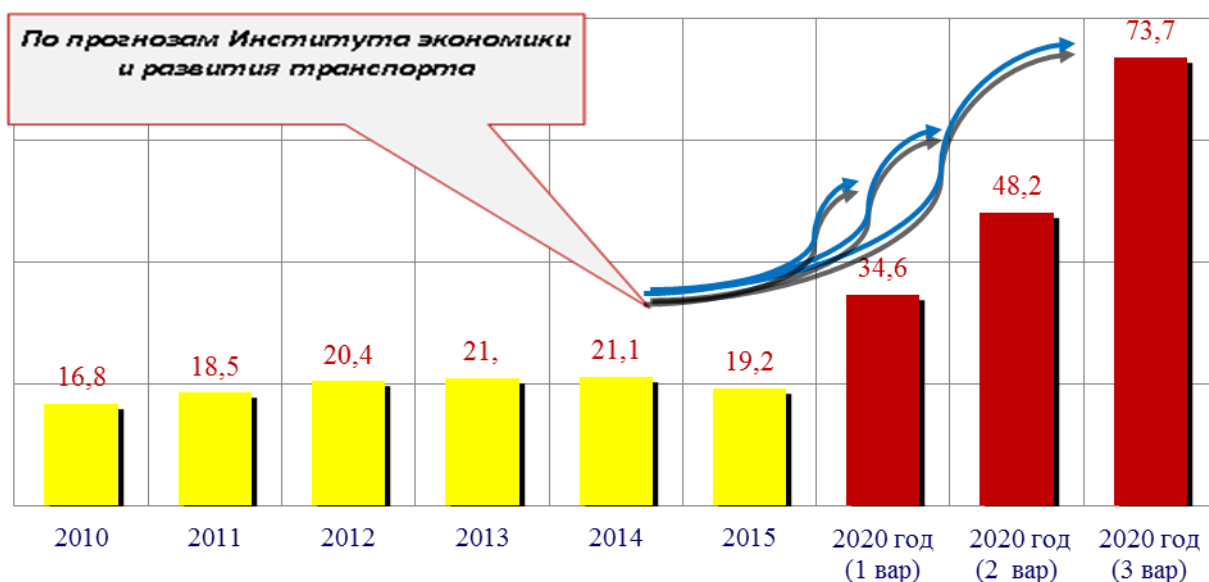


Рис. 2. Перспективы объемов перевозок на Улан-Баторской железной дороге, млн. т

По максимальному варианту (3 вариант) развития к 2020 г. по прогнозу объем перевозок составит 73,7 млн, тонн. в год. Наибольший прирост объемов грузовых перевозок по сети АО «УБЖД» по третьему варианту будет обусловлен транзитным динамичным приростом перевозок экспортоориентированной продукции добывающий промышленности: с выходом на проектную мощность и планируемую транзитную перевозку между РФ и КНР. Выполнение такого большого объема перевозок тепловозной тягой потребует больших эксплуатационных расходов. Поэтому для снижению эксплуатационных расходов и повышения эффективности перевозочного процесса на железных дорогах целесообразно использовать электрическую тягу на переменном токе.

В 2002 году правительством Монголии принята государственная программа «Единые энергетические системы Монголии», в рамках которой планируется использование возобновляемых источников энергии в сочетании с дизельными электростанциями, что по прогнозам должно обеспечивать надежное бесперебойное питание 87 % потребителей.

Энергосистема Монголии включает несколько источников, к которым можно отнести: тепловые электростанции, гидроэлектростанции, дизельные электростанции, ветряные электростанции, солнечные электростанции. Распределение показателей произведенной электрической энергии среди основных источников электрической энергии в составе единой энергосистемы Монголии показано на рис. 3 [3].

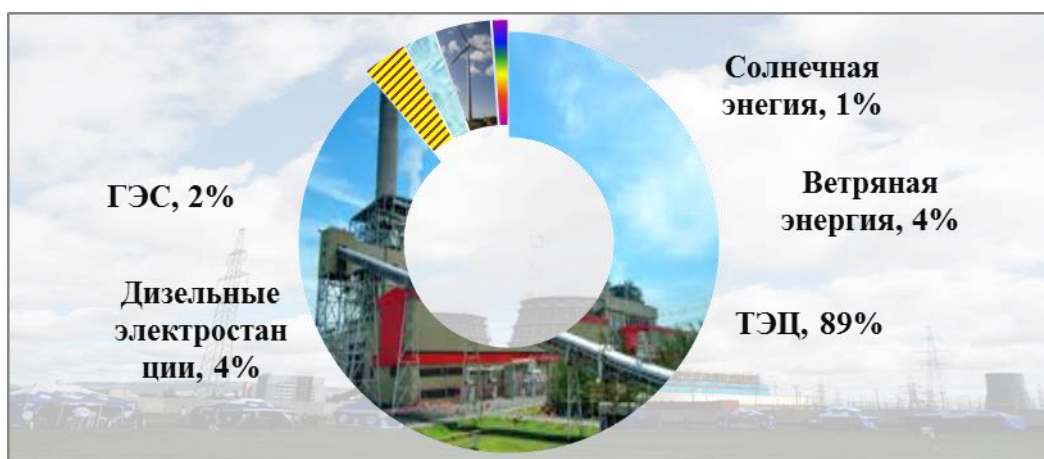


Рис. 3. Составы источников электроэнергии в Монголии

На рис. 4 представлена разработанная структурная схема организации электрификации Улан-Баторской железной дороги. Во главе структурной схемы организации электрификации УБЖД стоят органы государственной власти и принятые ими законы и приказы, которые утверждают порядок функционирования существующей энергетической системы Монголии и разрабатываемой электрифицированной УБЖД.

Требования к программам в области электрификации, к электрификации зданий, строений и сооружений, мероприятия в области электрификации и повышения энергетической эффективности, целевые показатели энергозатрат и повышения энергетической эффективности должны быть положены в основу создания программы в области энергообеспечения АО «УБЖД». Выбор рода тока позволит создать инфраструктуру транспортного комплекса, на основании которой осуществляется выбор типа ЭПС, а также сама инфраструктура. В свою очередь разработанная инфраструктура должна быть согласована с системами внешнего и тягового электроснабжения новой единой энергетической системой Монголии с электрифицированной УБЖД.

Так в результате электрификации на переменном токе потребуется в 2,5 раза меньшее количество тяговых подстанций чем на постоянном. Более высокое напряжение в контактной сети и соответственно меньшие токи позволяют увеличить расстояние между тяговыми подстанциями. Однако необходимость подачи на тяговые двигатели переменного тока приводит к удорожанию электроподвижного состава из-за установки тяговых трансформаторов и выпрямителей.

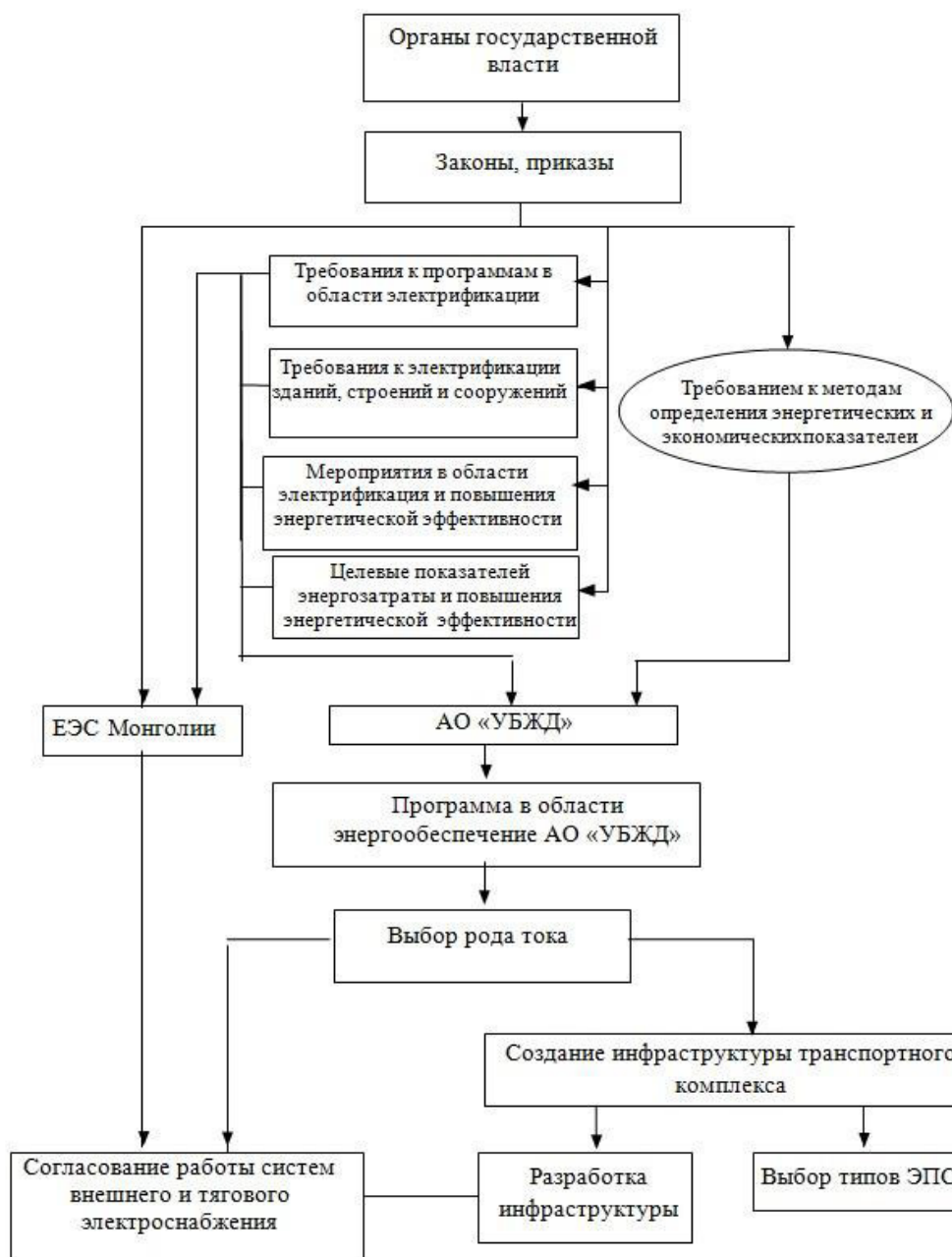


Рис. 4. Структурная схема организации электрификации Улан-Баторской железной дороги

Питание электроэнергии тяговых подстанций предусматривается от двухцепной продольной линии передачи напряжением 110 кВ. В качестве опорных питающих пунктов используются подстанции 220/110 кВ в узлах Сухэ-Батор и Дархан, Зуунхараа и Улан-Батор, Чойр и Сайншанд. В узле Сайншанд предусматривается, что тяговая подстанция в этом узле или вблизи него должна являться опорной с питающим напряжением 220 кВ и распределительным устройством 110 кВ, к которому будут подключены линии 110 кВ, отходящие в сторону Замын-Удэ по плану развития энергосистемы Монголии.

Основные показатели расчета системы электроснабжения – результаты тяговых электрических расчетов – приведены в табл. 1. В этой же таблице показаны типы электровозов, для которых произведен расчет (2ЭС5К для грузовых поездов и ЭП-20 для пассажирских поездов).

Выбор электровозов выполнен предварительно на основании данных о профиле и унифицированном весе грузовых поездов.

Для определения оптимального расстояния между тяговыми подстанциями на магистрали Сухэ-Батор – Замын-Удэ подсчитывается среднегодовая линейная нагрузка на этой магистрали от всех типов поездов. Для этого число поездов данного типа за сутки умножается на вес такого поезда и на его удельный расход энергии в $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{ткм}}$ и делится на 24 часа и коэффициент неравномерности. Полученная линейная нагрузка от данного типа поезда суммировалась по всем типам поездов.

Полученная для рассматриваемого участка по данным табл. 1. средняя величина линейной нагрузки при максимальных объемах перевозок 1826,4 кВт·А·ч/км позволяет определить оптимальное расстояние между тяговыми подстанциями. Это расстояние составит 47,2 км, что соответствует размещению на магистрали 23 подстанций.

Все подстанции будут иметь питающее напряжение 110 кВ. Подстанции Дархан, Зуунхараа, Улан-Батор, Чойр, Сайншанд, Замын-Удэ опорные, остальные подстанции проходного, отпаечного и тупикового типов. Все тяговые подстанции совмещены с дистанциями контактной сети.

Нагрузки нетяговых потребителей, питаемые от проводов ДПР напряжением 27,5 кВ, здесь не учтены и должны быть при определении мощности тяговых трансформаторов арифметически прибавлены к нагрузкам шин 27,5 Кв. Схема питания ДПР такова, что эти провода питают консольно перегон от одной подстанции.

Устройства компенсации реактивной мощности, устанавливаемые в различных ветвях и узлах системы тягового электроснабжения, при правильном расположении и выборе соответствующих мощностей решают задачи снижения потерь электрической энергии как в системе внешнего, так и тягового электроснабжения. При определенных мощностях установок уменьшается несимметрия тяговой нагрузки, приводящая к повышению показателей качества электрической энергии.

Таблица 1

**Результаты электрического расчета на участке Сухэ-Батор – Замын-Удэ
(Транс-Монгольский магистраль)**

Подстанции	Пункт, км	Длина между ТПС, км	Полный, кВ·А·ч	Активный, кВт·ч		Реакт., квар·ч		Потери в тр-рах	
				прием	возвр.	прием	возвр.	нагруз.	х. х.
Сухэ-Батор	23	50	31737	28906	150	14024	596	45	1008
Орхон	73	48	47137	41811	124	22002	0	66	1008
Дархан	121		16455	11997	199	11470	0	14	1008
Всего по участку			95329	82714	473	47496	596	125	3024
Дархан	121	47	48985	45484	156	20228	1655	94	1008
Эрхэт	168	63	88753	74910	28	47643	0	182	1008
Зуунхараа	231		54774	44185	228	32679	0	137	1008
Всего по участку			192512	164579	411	100550	1655	413	3024
Зуунхараа	231	40	48419	41004	1136	28176	699	100	1008
Тунх	274	40	86980	57221	5712	70088	0	222	1008
Мандал	314	55	92697	71704	1389	60564	161	278	1008
Давааны	369	24	99937	78606	2298	64612	80	384	1008
Улан-Батор	403		51588	32303	4214	43271	0	166	1008
Всего по участку			379622	280838	14748	266710	940	1150	5040
Улан-Батор	403	56	65125	55974	827	35356	714	165	1008
Хайрхан	459	50	131779	98135	1234	89307	0	471	1008
Багахангай	509	47	94835	68261	1634	67563	75	318	1008
Агуйт	546	52	71119	61293	106	36748	343	135	1008
Оорцог энгэр	598	47	75879	58438	372	48846	0	163	1008
Чойр	645		40481	36244	271	19522	957	91	1008
Всего по участку			479297	378346	4444	297343	2090	1342	6048
Чойр	645	26	34261	32900	921	14796	2503	70	1008
Шивээ Овоо	671	52	82001	48162	3045	68473	0	252	1008
Цомог	723	57	104426	78586	702	69695	133	350	1008
Алтганы гол	780	64	98608	78553	819	60776	105	250	1008
Агь Сумбэт	844	32	80029	53320	3083	63091	0	204	1008
Сайншанд	876		38925	36177	1417	19374	1857	96	1008
Всего по участку			438250	326698	9986	296205	4598	1221	6048
Сайншанд	876	52	56722	46957	2155	35631	843	154	1008
Ургун	928	58	96077	71519	1212	65481	0	253	1008
Улаан-Уул	986	60	96114	77411	539	57835	141	253	1008
Авгын гол	1046	65	101378	86866	168	52571	26	252	1008
Замын-Ууд	1111		51972	39699	400	33735	0	99	1008
Всего по участку			402083	322451	4473	245253	1011	1012	5040
СБ-ЗУ	1088		1987093	1555626	34535	1253557	10890	5263	28224

Система тягового электроснабжения содержит двадцать три тяговых подстанции, оборудованных одинаковыми трехобмоточными тяговыми трансформаторами типа ТДТН 40000/220 с номинальными напряжениями обмоток 230/27,5/6 кВ. Контактная подвеска на исследуемом участке должна быть выполнена контактным проводом МФ-100 и несущим тросом ПБСМ1-95. Участок однопутный. Рельсы типа Р65 расположены над однородной структурой земли с проводимостью $\gamma = 10^{-4}$ См/м. Расстояние между тяговыми подстанциями 26÷65 км.

Список литературы

1. Монголо-Российское акционерное общество Улан-Баторская железная дорога: Отчет за 2014 год. – М.: Ганзам пресс, 2014 – 232 с.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.mrt.gov.mn
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energy.gov.mn/>
4. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
5. Бакланов, А. А. Теория электрической тяги. Тяговые расчеты: Методические указания по курсовому и дипломному проектированию [Текст] / А. А. Бакланов. – Омск: ОмГУПС, 1999. – 39 с.
6. Комплекс расчетов тягового электроснабжения КОРТЭС. – М.: ВНИИЖТ, 2011.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Алтангэрэл Энх-Амгалан
Локомотивное депо Улан-Батор,
АО «УБЖД».
Улица Сеул-42, г. Улан-Батор, 210535,
Монголия.
Инженер локомотивного депо Улан-Батор, АО
«УБЖД».
Тел.: +976 86119909.
E-mail: enkhamgalan0203@gmail.com.

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Altangerel Enkh-Amgalan
Loc-depot of Ulaanbaatar, JSC “UBTZ”.
St.Seoul-42, Ulaanbaatar, 210535, Mongolia
Engineer of Locomotive depot of Ulaanbaatar,
JSC “UBTZ”.
Phone.: +976 86119909.
E-mail: enkhamgalan0203@gmail.com.

А. А. Бакланов, К. И. Доманов

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Российская Федерация

ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕНИЯ МАССЫ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

В статье рассмотрены тягово-энергетические показатели электроподвижного состава, которые значительно возрастают при увеличении массы и скорости движения поездов.

Ключевые слова: электроподвижной состав, сила тяги, скорость, мощность.

Alexander A. Baklanov, Kirill I. Domanov

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

TRACTION-ENERGY INDICES OF PROSPECTIVE ELECTRIC ROLLING STOCK IN TERMS OF INCREASED WEIGHT AND SPEED OF TRAINS

The article deals with traction and energy indicators of electric rolling stock, which significantly increase with increasing weight and speed of trains.

Keywords: electric rolling stock, traction, speed, power.

Обновление парка электроподвижного состава (ЭПС) предусматривает применение новых электровозов с целью повышения массы и скорости движения поездов, снижения энергозатрат на тягу и сокращения в целом эксплуатационных расходов. Эксплуатационные показатели работы электровозов в первую очередь зависят от их параметров.

На основании баланса сил требуемая касательная сила тяги электровоза (без учета силы тяги на перемещение самого электровоза) определяется суммой сил, действующих на поезд, и при установившемся движении характеризуется выражением

$$F = W_i + W_o + W_r = mgi + mgw_o + mgw_r, \quad (1)$$

где W_i , W_o , W_r – соответственно силы от уклона, основного сопротивления и дополнительного сопротивления движению от кривых;

m , g , i – масса состава, ускорение свободного падения и крутизна уклона;

w_o , w_r – удельные основное сопротивление и дополнительное сопротивление движению от кривых.

При заданной скорости движения V реализуемая мощность электровоза определяется выражением

$$P = FV. \quad (2)$$

На основной части Транссибирской магистрали (ТСМ) крутизна лимитирующих подъемов находится на уровне $i = 10 \text{ ‰}$ и только несколько лимитирующих подъемов имеет большую крутизну, на них тяжелые поезда проследуют с подталкивающими локомотивами.

Требуемую касательную силу тяги и мощность грузового электровоза с поездами различной массы при движении с установившейся скоростью на подъеме крутизной 10 ‰ характеризуют зависимости на рис. 1, которые рассчитаны для следующих исходных данных: путь прямой бесстыковой; состав грузовых 4-осных вагонов на подшипниках качения; масса на ось вагона $m_{bo} = 23 \text{ т}$; масса состава $m = 2000, 4000, 6000, 8000 \text{ т}$.

Такие же зависимости для пассажирского электровоза представлены на рис. 2, которые рассчитаны для следующих исходных данных: путь прямой бесстыковой, состав пассажирских 4-осных вагонов на подшипниках качения; масса на ось вагона $m_{bo} = 15 \text{ т}$; мощность подвагонного генератора $P_{пг} = 10 \text{ кВт}$; масса состава $m = 600, 1200, 1800, 2400 \text{ т}$.

Аналогичные зависимости для электропоезда представлены на рис. 3, которые рассчитаны для следующих исходных данных: путь прямой бесстыковой; масса электропоезда $m = 480, 720, 960, 1200 \text{ т}$.

Анализ полученных зависимостей показывает следующее. С увеличением массы поезда и скорости движения нелинейно возрастают требуемая касательная сила тяги и особенно мощность ЭПС. Исходя из формулы (1), требуемая касательная сила тяги существенно зависит от основного сопротивления движению, которое, как известно, пропорционально скорости движения во второй степени, следовательно, сила тяги возрастает пропорционально квадрату скорости движения. Таким образом, мощность

ЭПС, как видно из формулы (1), возрастает пропорционально скорости движения в третьей степени.

Основные параметры для некоторых новых серий ЭПС в номинальном продолжительном режиме тяги приведены в таблице 1, в которой указаны количество тяговых осей n и масса m ЭПС, касательная сила тяги F , скорость движения V и реализуемая мощность P , при этом для электропоездов вместо количества тяговых осей указано количество вагонов.

По данным таблицы 1 на рис. 1 – 3 точками показаны основные параметры рассматриваемых серий ЭПС.

Таблица 1

Основные параметры новых серий ЭПС

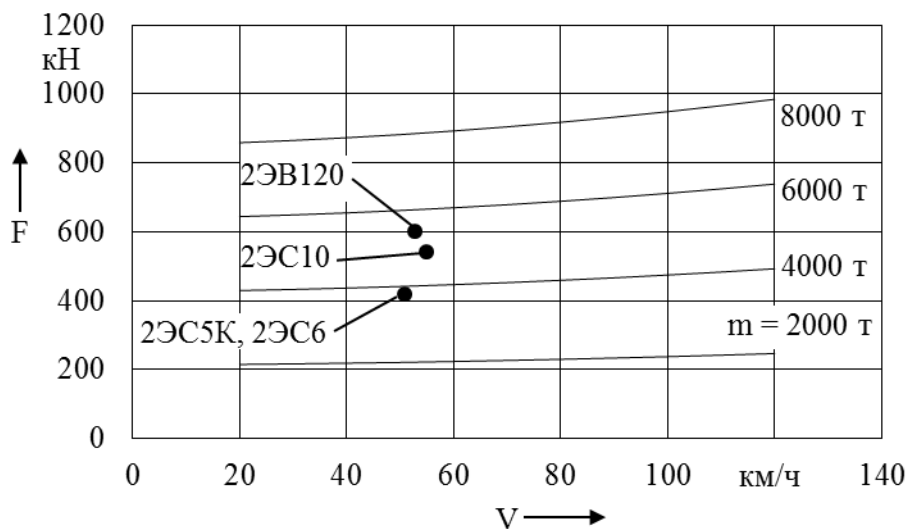
Серия ЭПС	n	m , т	F , кН	V , км/ч	P , кВт
Грузовые электровозы					
2ЭС5К	8	192	423	51	5990
2ЭС6	8	200	418	51	5920
2ЭС10	8	200	538	55	8220
2ЭВ120	8	200	600	52,8	8800
Пассажирские электровозы					
ЭП1	6	138	219	73,1	4450
ЭП2К	6	138	167,4	91	4230
ЭП20	6	138	300	78	6500
Электропоезда					
ЭД4	10	517	130	130	4700
ЭД9	10	513	122	130	4400
ЭР200	10	560	124	200	6880
ЭВС Сапсан	10	672	115	250	8000

Анализ полученных данных показывает следующее.

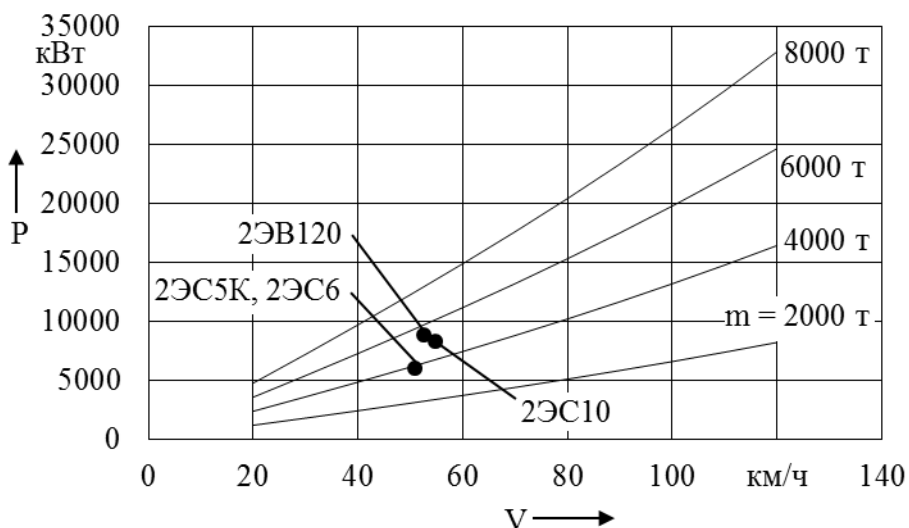
На участках с лимитирующими подъемами крутизной 10 ‰ грузовые электровозы 2ЭС5К и 2ЭС6 с коллекторными тяговыми двигателями в номинальном режиме могут обеспечить вождение поездов массой около 4000 т с установившейся скоростью 51 км/ч, а электровозы 2ЭС10 и 2ЭВ120 с бесколлекторными тяговыми двигателями – массой 5000-5500 т с установившимися скоростями соответственно 55 и 52,8 км/ч.

Для повышения массы поезда, например, до 6000-8000 т при таких же скоростях движения необходимо увеличить силу тяги грузового электровоза до

700-900 кН, а мощность – до 10000-14000 кВт. В случае вождения поездов такой массы на лимитирующих подъемах в номинальном режиме со скоростью 60-70 км/ч необходимо иметь мощность грузового электровоза 12000-18000 кВт.



а

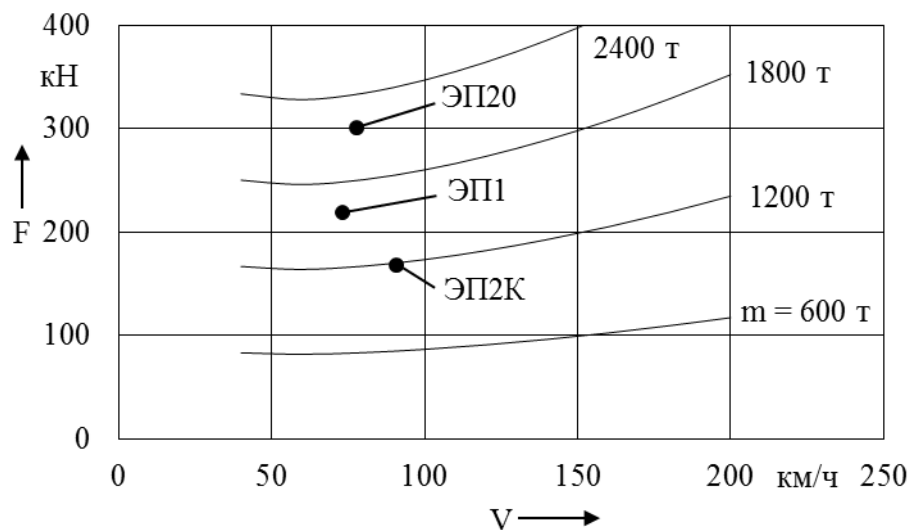


б

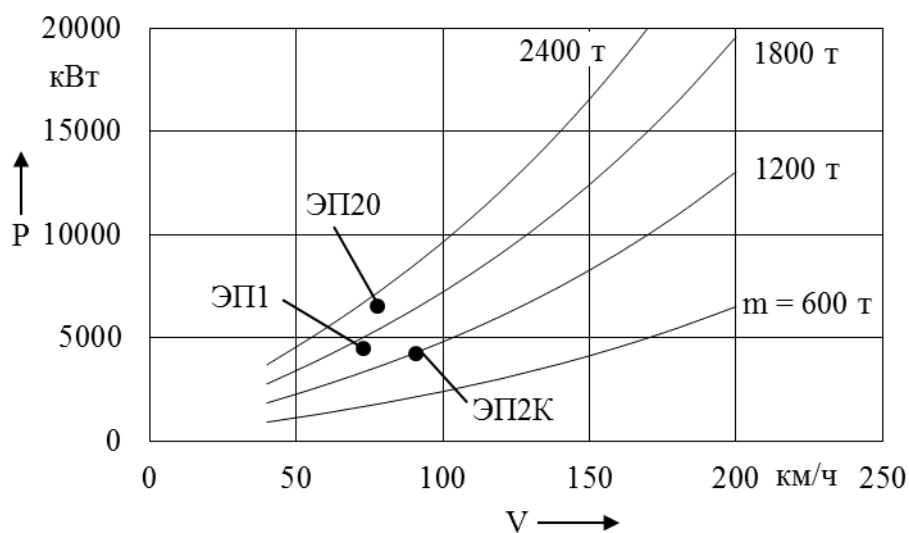
Рис. 1. Сила тяги: а) и мощность; б) грузовых электровозов с поездами различной массы на подъеме крутизной 10 ‰

Пассажирские электровозы ЭП1 и ЭП2К с коллекторными тяговыми двигателями в номинальном режиме на участках с лимитирующими подъемами крутизной 10 ‰ могут обеспечить вождение поездов массой 1200-1600 т (20-27 вагонов) со скоростями соответственно 73 км/ч и 91 км/ч, а электровозы ЭП20 с бесколлекторными тяговыми двигателями – массой 2200 т (37 вагонов) с

установившейся скоростью 78 км/ч. В случае вождения пассажирских поездов такой массы на участках с лимитирующими подъемами крутизной 10 ‰, например, с номинальной скоростью 150 км/ч необходимо увеличить силу тяги пассажирского электровоза до 200-350 кН, а мощность – до 8000-15000 кВт.



а

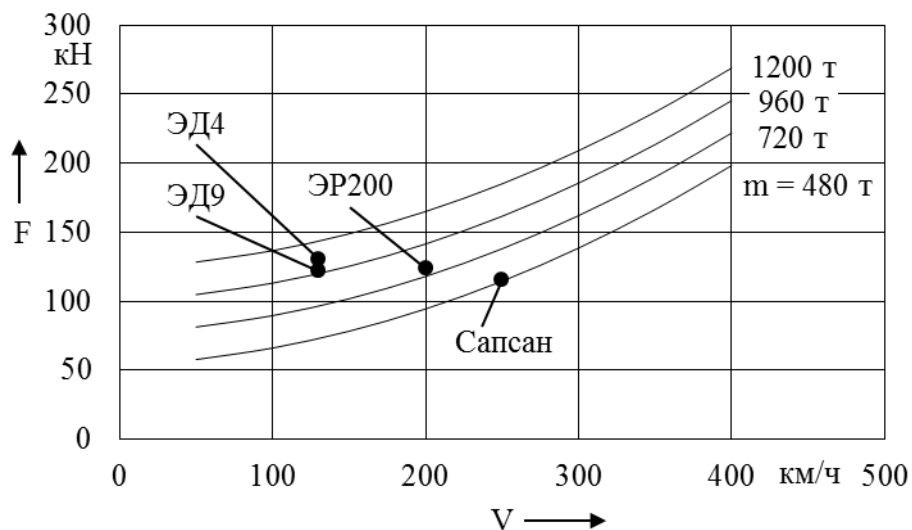


б

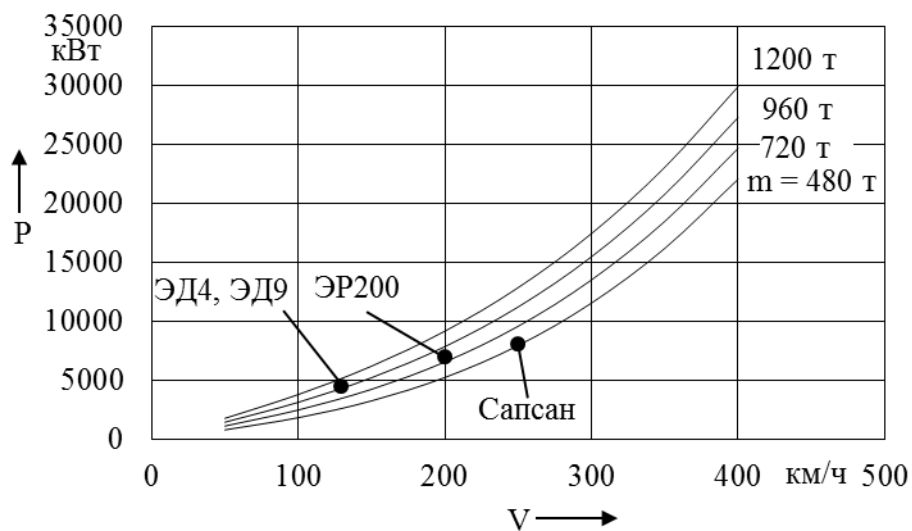
Рис. 2. Сила тяги: а) и мощность; б) пассажирских электровозов с поездами различной массы на подъеме крутизной 10 ‰

Сила тяги и мощность обычных электропоездов ЭД4, ЭД9 на подъеме крутизной 10 ‰ позволяют обеспечить движение с установившейся максимальной скоростью 130 км/ч состава массой 960-1080 т (16-18 вагонов). Параметры электропоезда ЭР200 на таком же участке позволяют обеспечить

движение с установившейся максимальной скоростью 200 км/ч состава массой 720 т (12 вагонов). Мощность высокоскоростного электропоезда Сапсан на подъеме крутизной 10 ‰ позволяет обеспечить движение с установившейся максимальной скоростью 250 км/ч состава массой 480 т (8 вагонов).



а



б

Рис. 3. Сила тяги: а) и мощность;
б) электропоездов различной массы на подъеме крутизной 10 ‰

Приведенные на рисунке 3 зависимости показывают, что на участке с крутизной подъема 10 ‰ для движения со скоростью, например, 300 км/ч высокоскоростного электропоезда массой 480-1200 т (8-20 вагонов) требуются сила тяги 140-210 кН и мощность 11000-18000 кВт.

На проектируемой высокоскоростной магистрали Москва-Казань предполагается движение электропоездов со скоростью 400 км/ч. Для обеспечения движения с такой скоростью высокоскоростного электропоезда массой 480-1200 т (8-20 вагонов) потребуются сила тяги 200-270 кН и мощность 21000-30000 кВт. При этом потребляемый из контактной сети ток электропоезда составит не менее 7000-10000 А, если на этой линии будет использована электрическая тяга постоянного тока с напряжением в контактной сети 3 кВ. В случае применения электрической тяги однофазного переменного тока с напряжением в контактной сети 25 кВ ток электропоезда составит не менее 840-1200 А.

Следовательно, при повышении массы и скорости движения поездов существенно возрастают нагрузки тяговой сети, поэтому требуется усиление системы тягового электроснабжения, в первую очередь на лимитирующих участках железных дорог.

Для обеспечения высокоскоростного движения со скоростью 300 км/ч и более, в том числе на линии Москва-Казань со скоростью 400 км/ч, наиболее предпочтительной по условиям токосъема является система электрической тяги однофазного переменного тока с напряжением в контактной сети 25 кВ.

Список литературы

1. О научной платформе стратегии развития железнодорожного транспорта России до 2050 года [Текст] / Б. М. Лapidус [и др.] // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД» / М.: Изд-во ООО «Селадо». – 2017. – № 2. – С. 1 – 21.
2. Покровский, С. В. Потенциал эффективности грузовых электровозов с асинхронными тяговыми двигателями [Текст] / С. В. Покровский // Техника железных дорог / Институт проблем естественных монополий. – Москва. – 2018. – № 2 – С. 58 – 64.
3. Заровняев, А. А. Принципы полигонной технологии пропуска совмещенного потока поездов [Текст] / А. А. Заровняев, И. О. Набойченко // Железнодорожный транспорт / – М.: Центр научно-технической информации и библиотек ОАО «РЖД». – 2016. – № 7. – С. 41 – 43.
4. Бегагоин, Э. И. Сравнительный анализ тяговых свойств грузовых электровозов ВЛ11, 2ЭС6, 2ЭС10 [Текст] / Э. И. Бегагоин, Д. Л. Худояров,

В. А. Кукушкин // Транспорт Урала / Уральский гос. ун-т путей сообщения. – Екатеринбург. – 2016. – № 2 (49). – С. 105 – 109.

5. Бакланов, А. А. Возможности применения двухсистемных электропоездов на железных дорогах Урало-Сибирского региона [Текст] / А. А. Бакланов, Н. В. Есин, А. П. Шиляков // Материалы науч.-практ. конф. «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 22 – 28.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бакланов Александр Алексеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.
Тел.: 8(3812)31-34-19
E-mail: aleksbakl@mail.ru

Доманов Кирилл Иванович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Инженер кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» ОмГУПС.
Тел.: 8(3812)31-34-19
E-mail: domanov35@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Baklanov Alexander Alekseevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046, the Russian Federation.
Docent at the Department of « Rolling stock of electric Railways» OSTU.
Phone: 8(3812)31-34-19
E-mail: aleksbakl@mail.ru

Domanov Kirill Ivanovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046, the Russian Federation.
Engineer at the Department of « Rolling stock of electric Railways» OSTU.
Phone: 8(3812)31-34-19
E-mail: domanov35@gmail.com

Научное издание

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ И НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

Материалы третьей международной
научно-практической конференции

(6 декабря 2018 г.)

Ответственный за выпуск Е. В. Пономарев

* * *

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 18.12.2018. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 20,7. Уч.-изд. л. 23,0.
Тираж 300 экз. Заказ

* *

Типография ОмГУПС

*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35