



Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет
путей сообщения

Материалы пятой всероссийской научно-технической конференции с международным участием



Эксплуатационная надежность
локомотивного парка и повышение
эффективности тяги поездов

Омск 2020

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ОАО «Российские железные дороги»
Омский государственный университет путей сообщения



ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПОЕЗДОВ

Материалы пятой всероссийской научно-технической конференции
с международным участием, посвящённой
75-летию победы в Великой Отечественной войне,
85-летию кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог»,
120-летию основания Омского государственного университета
путей сообщения
(12 ноября 2020 г.)

Омск 2020

УДК 006
ББК 30.10
П75

«Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов»: Материалы пятой всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2020. 218 с.

В сборник вошли статьи с результатами исследований, выполненных по комплексу научных направлений, посвященных тягово-энергетическому обеспечению перевозочного процесса и проблемам вождения поездов повышенной массы и длины; повышению эксплуатационной надежности и эффективности использования тягового подвижного состава; влиянию конструктивных особенностей тягового подвижного состава на эффективность перевозочного процесса; техническому обслуживанию и ремонту локомотивов; совершенствованию технологии и средств технического диагностирования тягового подвижного состава; эффективности использования системы тягового электроснабжения и ее взаимодействия с электроподвижным составом.

Представленные в сборнике материалы могут быть использованы при модернизации существующих и создании новых типов и серий подвижного состава для железнодорожного транспорта, совершенствовании процессов его технического обслуживания и ремонта.

Сборник может быть полезен для научных сотрудников и специалистов, работающих в области железнодорожного подвижного состава.

Библиогр.: 133 назв. Табл. 18. Рис. 78.

Редакционная коллегия:

доктор техн. наук, профессор И. И. Галиев (отв. редактор);
доктор техн. наук, доцент С. М. Овчаренко;
доктор техн. наук, профессор В. Т. Черемисин;
доктор техн. наук, профессор В. А. Четвергов;
доктор техн. наук, доцент С. Г. Шантаренко (зам. отв. редактора).

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ В. А. Аксенов;
доктор техн. наук, профессор В. Н. Горюнов.

ISBN 978-5-949-41270-1

© Омский гос. университет
путей сообщения, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Ашмяга Е. С. Повышение эффективности локомотивного парка как связь науки и практики	5
---	---

«ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА»

Петухов С. А., Чинченко Д. С., Летягин П. В., Кузнецов О. С. Диагностическая модель учета влияния износа в парах трения дизеля на показатели его работы	9
Абляимов О. С. О характеристиках траектории режима ведения поезда локомотивами	15
Истомин С. Г., Авдиенко Е. Г. Анализ методов и средств повышения эффективности эксплуатации электроподвижного состава железных дорог на основе применения прорывных информационных технологий	23
Анисимов А. С., Белоглазова Н. А., Носков В. О. Экспериментальные исследования режимов охлаждения и прогрева водяной системы тепловоза	28
Белан Д. Ю., Яковлев А. М. Анализ показателей эффективности колодочных и дисковых тормозных систем железнодорожного подвижного состава	36
Клюка В. П., Мосол С. А. Технические свойства тормозного оборудования современных локомотивов как средство повышения эффективности перевозочного процесса	43
Петрухин Е. Г., Астафьев П. П. Традиционные и перспективные системы технического обслуживания и ремонт тягового подвижного состава	52
Матяш Ю. И., Кирпиченко Е. М. Особенности подготовки сжатого воздуха на современных локомотивах с винтовыми компрессорными установками	59
Петров К. С., Кондратенко Е. В., Петров В. В. Применение системы индукционных датчиков для оценки параметров гребней колес подвижного состава на основе модели прямоугольной эквивалентной формы их профиля	65
Соловьев А. Н., Вильгельм А. С. Повышение эксплуатационной надежности и эффективности использования электровозов серии 2ЭС6 путем перехода на асинхронный привод	72
Бисерикан М. И., Петроченко С. В. Исследование влияния технологической наследственности на межремонтный пробег колес	80
Харламов В. В., Попов Д. И., Сергеев Р. В. Разработка хемы испытания асинхронного двигателя путем взаимной нагрузки с применением генератора постоянного тока	88
Шкодун П. К. Формирование виртуального эталона волнового отклика межвитковой изоляции якорных обмоток электрических машин тягового подвижного состава железных дорог	95
Обрывалин А. В., Аверков К. В., Меновщикова А. А. Разработка переносного устройства для обточки колесных пар без их выкатки из под локомотива	103
Асабин В. В., Курманова Л. С., Петухов С. А., Летягин П. В. Улучшение теплового состояния дизелей тепловозов путем применения термоэлектрических модулей	109

«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПОЕЗДОВ»

Галиев И. И., Лукс Д. Ю. Повышение массы соединенных грузовых поездов и эффективность использования локомотивов.....	117
Голубков А. С., Ермачков Г. Р., Смердин С. Н. Совершенствование эксплуатационных показателей системы токосъема на основе предварительных расчетов нажатия в контакте.....	125
Томилов В. В., Сидоров О. А., Утепбергенова С. М. Повышение эффективности использования электровозов при продолжительном режиме работы в условиях тяжеловесного движения.....	134
Бакланов А. А., Спиридонов С. В., Шиляков А. П. Перспективы использования скоростных электропоездов ЭС1 «Ласточка» на Западно-Сибирской железной дороге.....	141
Никифоров М. М. Общие принципы оценки эффективности использования рекуперативного торможения и энергии рекуперации.....	149
Абляимов О. С. Пути совершенствования системы нормирования расхода энергии на тягу поездов.....	155
Блинов П. Н. Оценка тяговых возможностей тепловоза ТЭМ14 при движении с низкой скоростью по железнодорожным весам.....	161
Абляимов О. С. Расчленение расхода энергии на тягу поездов в зависимости от условий перевозочной работы локомотивов.....	167
Нехаев В. А., Николаев В. А., Самохвалов Е. А., Минжасаров М. Х. Оценка точности вычисления главной области параметрического резонанса колёсной пары подвижного состава.....	173
Нехаев В.А., Николаев В.А., Смалев А.Н., Минжасаров М.Х. Экспертная оценка динамических качеств электровоза 2ЭС10 «Гранит»	180
Абляимов О. С. Анализ энергетических преобразований процесса перевозочной работы локомотивов в эксплуатации.....	188
Полевых Д. В. Влияние мощности поездных электровозов на оборудование и энергоэффективность системы тягового электроснабжения	194
Абляимов О. С. Обоснование средних норм расхода энергии на тягу поездов локомотивами в эксплуатации	200
Никифоров М. М., Вильгельм А. С. Обеспечение энергетической эффективности электротяги на МЦК при внедрении технологии беспилотного вождения электропоездов	206
Москалюк Б. М., Чертков И. Е. Применение методов расчета ударных воздействий, возникающих при эксплуатации токосъемных устройств	212

Е. С. Ашмяга

Омское территориальное управление Западно-Сибирской железной дороги – филиал
ОАО «РЖД», г. Омск, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА КАК СВЯЗЬ НАУКИ И ПРАКТИКИ

Сегодня большое внимание уделяется повышению конкурентоспособности Холдинга «РЖД» на глобальном рынке транспортных и логистических услуг. Этого можно достичь за счет повышения уровня удовлетворенности потребителей сервисов компании посредством внедрения передовых результатов научно-технической и инновационной деятельности. Основную роль в этом вопросе играет модернизация тягового подвижного состава, а также реализация значимых региональных проектов бережливого производства.

Ключевые слова: подвижной состав, РЖД, модернизация, бережливое производство.

Eugene S. Ashmyaga

Omsk Territorial Administration of the West Siberian Railway – branch of
JSC "Russian Railways", Omsk, the Russian Federation

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE LOCOMOTIVE PARK AS A LINK OF SCIENCE AND PRACTICE

Today, much attention is paid to increasing the competitiveness of the Russian Railways Holding in the global market of transport and logistics services. This can be achieved by increasing the level of customer satisfaction with the company's services through the introduction of advanced results of scientific, technical and innovative activities. The main role in this issue is played by the modernization of traction rolling stock, as well as the implementation of significant regional projects of lean production.

Keywords: rolling stock, Russian Railways, modernization, lean manufacturing.

В последние годы в локомотивном хозяйстве сети произошли существенные изменения во взаимоотношениях с поставщиками тягового подвижного состава. Необходимо отметить, что сегодня мы железнодорожники получаем новые локомотивы, характеристики которых позволяют водить поезда повышенной длины и веса, преодолевать без подталкивания участки с тяжёлым профилем (в большей мере это касается Кузбасса и Алтая).

Один из таких ярких примеров – электровозы «Синара» различных модификаций, которые, в том числе, составляют основной парк локомотивного депо Омск. Вместе с тем компания изменила подходы во взаимодействии с конструкторами локомотивостроительных предприятий. Если раньше при покупке тягового подвижного состава выбирались варианты из готовых решений, предложенных производителями, то за последние несколько лет специалистами ОАО «РЖД» совместно с представителями отраслевой науки, были разработаны и переданы локомотивостроителям технические и функциональные требования для новых линеек локомотивов, появление которых на магистралях ожидается в ближайшие годы.

Специалисты Западно-Сибирской дирекции тяги ежегодно проводят технические испытания по совершенствованию и изучению технических характеристик и возможностей нового тягового подвижного состава. Их результаты также отправляются на рассмотрение производителей.

В последние годы в Омском регионе магистрали активно реализуется инвестиционная программа по модернизации тягового подвижного состава. Начиная с 2012 года эксплуатационное локомотивное депо Омск парк магистрального и маневрового тягового состава более, чем на 80% пополнился машинами нового образца. Речь идет о локомотивах серии 2ЭС6 «Синара» и маневровых тепловозах с улучшенными характеристиками энергоэффективности и экологичности серии ТЭМ14 и ТЭМ18.

Проводится работа по модернизации и в эксплуатационном локомотивном депо Карасук. В современном мире машина за тот срок службы, который устанавливает производитель (например, 30 лет) морально устаревает гораздо раньше, отстаёт по своим характеристикам от локомотивов новых поколений и перестаёт быть эффективной в работе. Сегодня компания предусматривает периодическую плановую замену морально устаревшего оборудования локомотивов на современные модули при капитальных ремонтах.

Так, в 2018 году выполнена модернизация тягового подвижного состава в количестве 171 единицы (ТЧЭ-10 Карасук: ВЛ80С – 86 секций, ВЛ80 – 69 секций, 2ТЭ10 – 4 секции; ТЧЭ-2 Омск: ВЛ10(К) – 12 секций).

В 2019 году – 146 единиц (ТЧЭ-10 Карасук: ВЛ80С – 128 секции, 2ТЭ10 – 18 секций).

В 2020 году – 186 единиц (ТЧЭ-10 Карасук: ВЛ80С – 163 секции, 2ТЭ10 – 23 секции).

Кроме того в 2019 году в эксплуатационное локомотивное депо Омск получены 7 единиц маневровых тепловозов серии ТЭМ14, которые имеют двукратное превосходство в мощности относительно привычных маневровых тепловозов ТЭМ2 и ТЭМ18 (всего в приписном парке депо Омск 65 маневровых тепловозов: 5 тепловозов ТЭМ18, 7 тепловозов ТЭМ14 и 53 тепловоза ТЭМ2).

Использование маневровых тепловозов серии ТЭМ14 позволило изменить подходы в организации доставки местных грузов на станции региона. В настоящее время маневровые тепловозы серии ТЭМ14 используются в качестве диспетчерских тепловозов на Исилькульском и Татарском участках.

В целях повышения эффективности использования тяговых ресурсов в Омском регионе широко используется технология организации движения поездов на удлиненные плечи обслуживания. Данная технология позволяет значительно повысить участковую и техническую скорость поездов на данных участках обслуживания.

За истекший период 2020 года локомотивными бригадами эксплуатационного локомотивного депо Карасук совершено 2757 поездок на удлиненное плечо обслуживания Алтайская-Иртышское, что на 11% или на 283 поездки больше чем за аналогичный период прошлого года (2019 год – 2474 поездки).

Локомотивными бригадами депо Омск совершено 3164 поездки на удлиненные плечи обслуживания, что на 41% или на 925 поездок больше чем за аналогичный период прошлого года (2019 год – 2239 поездки).

Пандемия внесла свою лепту и в работу железнодорожного транспорта.

Благодаря тесному взаимодействию со Свердловской железной дорогой в 2020 году организованы поездки омских локомотивных бригад на новые удлиненные плечи обслуживания: Московка-Войновка (протяженность 585 км), Входная-Войновка (протяженность 559 км) и Московка-Курган (протяженность 560 км).

За 10 месяцев 2020 года на данные плечи уже совершена 561 поездка. Остановлюсь на наиболее крупных проектах бережливого производства, реализованных в 2020 г. в локомотивном хозяйстве и предложенных нашими работниками.

Во втором квартале 2020 г Эксплуатационным локомотивным депо Карасук реализован мультифункциональный проект «Снижение непроизводственных потерь на электрическую тягу поездов в эксплуатационном локомотивном депо

Карасук». В результате реализации сокращается расход электроэнергии на тягу поездов за счет снижения линейного пробега одиночного двухсекционного локомотива при передислокации его на участке обслуживания от станции Иртышское до станции Артышта. Передислокация электровозов предусмотрена технологией по причине наличия непарности поездов на участке. Ожидаемый годовой экономический эффект от реализации составит 3,92 млн. рублей.

Кроме этого железнодорожными станциями Входная и Московка реализованы функциональные проекты бережливого производства «Соединение транзитных контейнерных поездов на станции Входная» и «Формирование четных контейнерных поездов на станции Московка» соответственно. Проекты направлены на увеличение провозной способности участка, сокращение использования количества локомотивных бригад и поездных локомотивов. Общий ожидаемый годовой условный экономический эффект составит 18,83 млн. рублей (ДС Входная – 8,25 млн. рублей, ДС Московка – 10,58 млн. рублей).

Также эксплуатационным локомотивным депо Омск реализован проект бережливого производства «Сокращение расхода электроэнергии на тягу поездов от применения технологии отключения одной секции локомотива (2ЭС6, ВЛ10К) с весом поезда до 3000 тонн на участке Инская-Московка-Инская». В результате реализации сокращается расход электроэнергии на тягу поездов за счет отключения одной секции локомотива. Ожидаемый годовой экономический эффект составит 5,846 млн. рублей.

Помимо проектов бережливого производства в регионе реализованы и ряд технологических улучшений направленных на снижение непроизводительных потерь локомотивных бригад.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Евгений Сергеевич Ашмяга

Омское территориальное управление
Западно-Сибирской железной дороги –
филиал ОАО «РЖД».

ул. Леконта, 4, г. Омск, 644020,
Российская Федерация.

Заместитель начальника Западно-Сибирской
железнодорожной – филиала ОАО «РЖД» по
Омскому территориальному управлению.
Тел. : +7 (3812) 44–27–62.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Eugene Sergeevich Ashmyaga

Omsk Territorial Administration of the
West Siberian Railway – branch of
JSC "Russian Railways".

4, Lekonta st., Omsk, 644020,
the Russian Federation.

Deputy Head of the West Siberian Railway –
branch of Russian Railways for the Omsk
Territorial Administration.
Phone : +7 (3812) 44–27–62.

УДК 621.436

С. А. Петухов, Д. С. Чинченко, П. В. Летягин, О. С. Кузнецов

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС),
г. Самара, Российская Федерация

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА В ПАРАХ ТРЕНИЯ ДИЗЕЛЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЕГО РАБОТЫ

В статье проведено численное моделирование влияния износа на изменение угла опережения подачи топлива и угла опережения верхнего коленчатого вала нижним применимо к двухтактному дизелю.

Ключевые слова: дизель, тепловоз, износ, режимы работы дизеля, диагностическая модель.

Sergei A. Petukhov, Denis S. Chinchenko, Pavel V. Letyagin, Oleg S. Kuznetsov

Samara State Transport University (SSTU), Samara, the Russian Federation

DIAGNOSTIC MODEL FOR ACCOUNTING FOR THE EFFECT OF WEAR IN DIESEL FRICTION PAIRS ON ITS PERFORMANCE

The article numerical simulation of the effect of wear on the change of advance angle of fuel delivery and advance angle of the upper crankshaft lower applicable to two-stroke diesel.

Keywords: diesel engine, diesel locomotive, wear and tear, the modes of operation of the diesel engine, the diagnostic model.

Условия работы дизелей характеризуются частыми изменениями режимов работы, что приводит к значительному времени переходных и неустановившихся режимов в общем времени эксплуатации. Переходные и неустановившиеся режимы увеличивают износ в парах трения, а это приводит к ухудшению показателей работы дизеля [1-3]. Так, в двухтактных дизелях износ в зацеплении вертикальной передачи приводит к изменению угла опережения подачи топлива $\varphi_{\text{опт}}$ и угла опережения верхнего коленчатого вала нижним $\varphi_{\text{овн}}$ [4,5].

Построение многофакторной диагностической модели по результатам вычислительного эксперимента. Выявление количественных связей между контролируемыми и диагностическими параметрами для двигателей большой агрегатной мощности, какими являются тепловозные дизели, особенно при комплексном рассмотрении варьируемых факторов, учитывающих изменение технического состояния дизеля, нагрузки и внешних условий, является чрезвычайно сложной и трудоемкой задачей. В этом случае единственно доступный путь построения диагностической модели - вычислительный эксперимент, осуществляемый с помощью базовой математической модели. В такой постановке вопроса задача построения функционально-параметрической математической модели сводится к эквивалентированию сложной нелинейной базовой математической модели в простые и компактные регрессионные диагностические модели конкретных типов двигателей.

Такой подход успешно применяется для исследования скоростных и нагрузочных характеристик, оценки влияния внешних условий, моделирования технического состояния отдельных элементов двигателей. Система нелинейных уравнений базовой математической модели методом малых отклонений приводится к линейной системе, которая решается при пошаговом изменении независимых переменных. Высокая точность моделирования как исправного, так и неисправного дизелей, позволяет заменить натурный эксперимент вычислительным.

Зависимость параметров, характеризующих: эффективную мощность дизеля N_e и удельный эффективный расход топлива b_e , максимальные давление и температуру цикла P_{max} и T_{max} , фазу достижения максимальных значений давлением и температурой в цилиндре $\varphi_{P_{max}}$ и $\varphi_{T_{max}}$, давление сжатия P_c и температуру отработавших газов у выпускных окон цилиндра $T_{ог}$, давление и температуру окружающей среды P_o и T_o удобнее всего определять методом планирования эксперимента [6]. Численное моделирование рабочего процесса по методу ЦНИДИ [7] дает достаточно хорошую сходимость результатов моделирования и натурных испытаний.

Диагностическая модель влияния основных неисправностей дизеля на показатели его работы. Наиболее часто встречающимися в эксплуатации неисправностями двухтактных дизелей являются отклонения от нормы количества топлива, подаваемого в цилиндр; угла опережения подачи топлива в цилиндр; угла опережения верхнего коленчатого вала нижним;

закоксованности выпускных цилиндрических окон. Эти параметры взяты за основу при создании диагностической модели двухтактного тепловозного дизеля.

Как показывает практика, для данного типа дизелей можно принять разброс цикловой подачи топлива $\pm 0,2 \cdot 10^{-4}$ кг/цикл; отклонение угла опережения подачи топлива от номинального значения ± 10 градусов; отклонение угла опережения верхнего коленчатого вала нижним ± 4 градуса; закоксованность выпускных окон цилиндрических втулок до 30% площади [8].

Численный эксперимент реализовывался с помощью 25 испытаний, каждое из которых повторялось трижды. Результаты экспериментов, проведенных на математической модели, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

№	N _e	b _e	P _{max}	T _{max}	φ _{Pmax}	φ _{Tmax}	P _c	T _{ог}	P _{max} /P _c	φ _{опт}	φ _{овн}
1	248.95	0.2215	13.882	2092.03	12.6	20.52	7.214	719.48	1.924	-20	16
2	189.45	0.2151	12.215	1813.18	11.92	20.05	7.236	655.25	1.688	-20	16
3	239.1	0.2306	9.243	1885.23	20.25	39.38	7.211	746.44	1.282	0	16
4	181.23	0.2248	8.355	1618.15	20	37.91	7.236	673.61	1.155	0	16
5	242.59	0.2273	14.575	2251.42	9.53	15.44	7.206	720.99	2.023	-20	8
6	186.44	0.2186	12.8	1921.51	8.36	14.72	7.272	653.48	1.76	-20	8
7	242.63	0.2272	10.478	2025.9	14.41	30	7.144	741.48	1.467	0	8
8	184.96	0.2203	9.429	1720.25	12.42	29.35	7.263	666.99	1.298	0	8
9	247.56	0.2227	13.876	2101.82	12.55	22.04	7.199	739.35	1.927	-20	16
10	188.48	0.2162	12.211	1819.63	11.89	20.02	7.225	668.8	1.69	-20	16
11	237.75	0.2319	9.24	1895.19	20.24	39.34	7.194	769.54	1.284	0	16
12	180.27	0.226	8.353	1624.51	20	37.85	7.223	689.06	1.156	0	16
13	242.18	0.2276	14.511	2246.18	9.56	15.65	7.167	742.94	2.025	-20	8
14	186.24	0.2188	12.758	1913.15	9.42	15	7.249	668.44	1.76	-20	8
15	241.95	0.2279	10.409	2022.97	14.53	30	7.148	765.39	1.456	0	8
16	184.56	0.2208	9.388	1733.18	12.51	29.48	7.236	682.99	1.297	0	8
17	261.47	0.2222	12.73	2068.08	12.94	24.88	7.265	735.62	1.752	-10	12
18	176.73	0.2137	10.766	1678.4	11.42	21.95	7.313	642.53	1.472	-10	12
19	206.39	0.2323	8.155	1733.87	20	39.75	7.283	711.44	1.12	0	12
20	216.89	0.221	13.891	2012.32	10	18.53	7.291	681.5	1.905	-20	12
21	218.24	0.2197	11.124	1839.32	18.81	30	7.194	695.19	1.546	-10	16
22	218.17	0.2198	12.175	1992.78	10.05	20.14	7.158	689.49	1.701	-10	8
23	218.14	0.2198	11.36	1936.15	10.42	21.63	7.234	694.14	1.57	-10	12
24	219.21	0.2187	11.752	1903.54	12.13	23.35	7.254	707.81	1.62	-10	12
25	220.1	0.2178	11.757	1875.54	12.26	23.7	7.29	678.54	1.613	-10	12

На рисунках 1 – 3 в качестве примера приведены поверхности отклика параметров N_e , b_e , $P_{\max}$, $P_{\max}/P_c$ в зависимости от структурных параметров.

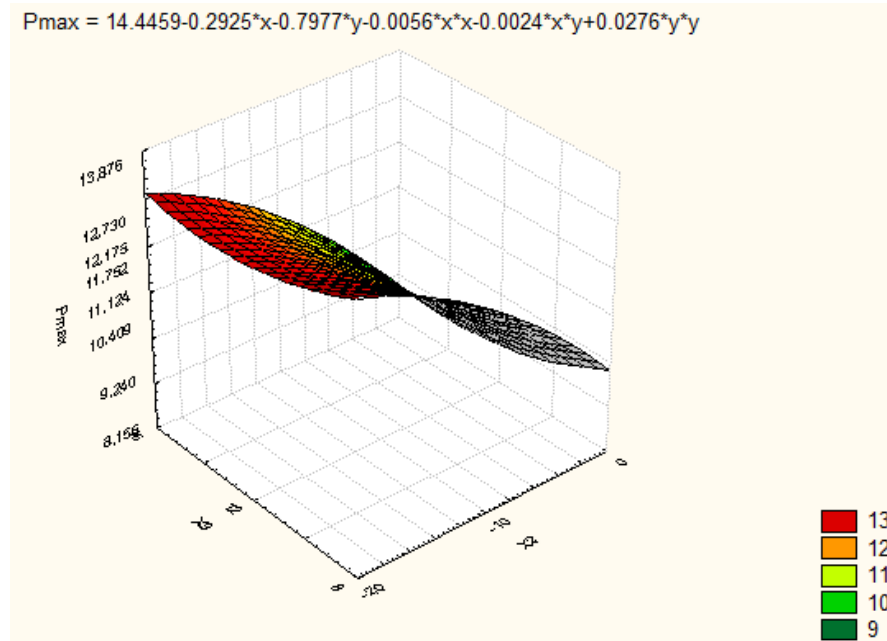


Рисунок 1 – Влияние угла опережения подачи топлива и угла опережения верхнего коленчатого вала нижним на максимальное давление сгорания

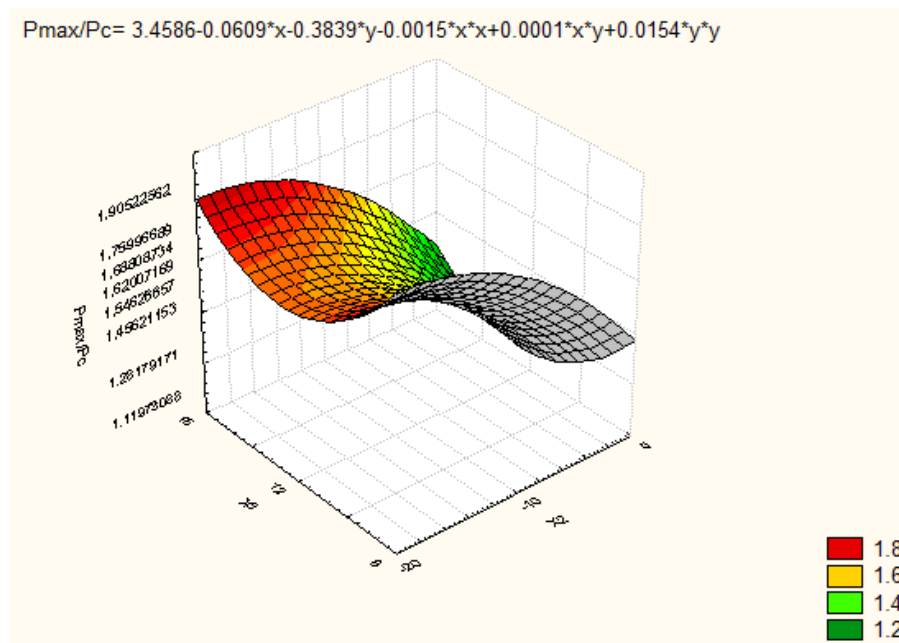


Рисунок 2 – Влияние угла опережения подачи топлива и угла опережения верхнего коленчатого вала нижним на $P_{\max}/P_c$

Сложная зависимость представляется седлообразной поверхностью, максимумы выходят за пределы области оптимальных значений. С помощью метода математического моделирования проанализировано влияние угла

опережения подачи топлива $\varphi_{\text{опт}}$ и угла опережения верхнего коленчатого вала нижним $\varphi_{\text{овн}}$ на показатели работы дизеля.

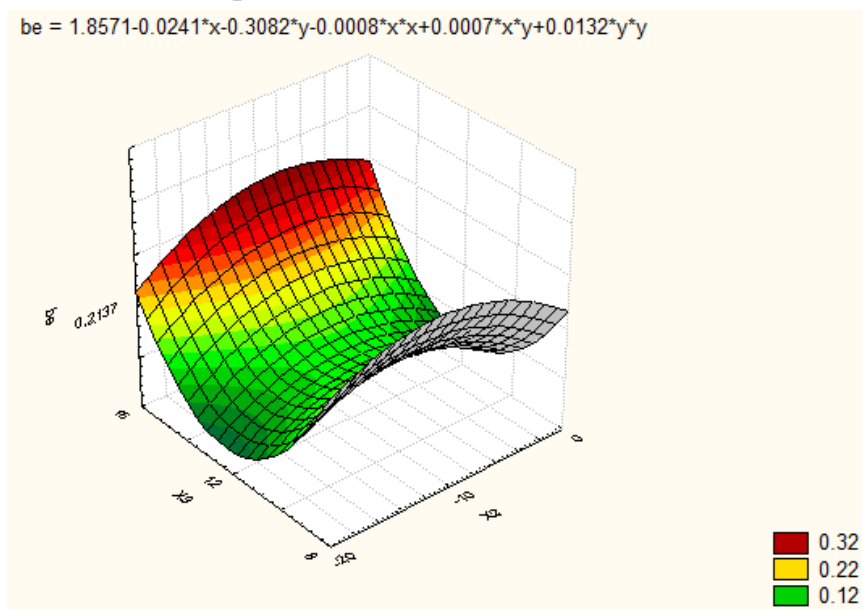


Рисунок 3 – Влияние угла опережения подачи топлива и угла опережения верхнего коленчатого вала нижним на удельный расход топлива

Полученные полиномиальные зависимости для основных параметров двухтактного дизеля достаточно полно описывают его поведение на режимах малых нагрузок и могут быть использованы для определения этих параметров на переходных режимах.

Список литературы

1. Работа дизелей в условиях эксплуатации : Справочник / А. К. Костин [и др.]. – Ленинград : Машиностроение, 1989. – 289 с. – Текст : непосредственный.
2. Ресурсосбережение и энергоэффективность тепловозных двигателей : монография / С. А. Петухов, В. Е. Лазарев, В. В. Асабин [и др.]. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2020. – 138с. – Текст : непосредственный.
3. Овчаренко, С. М. Теоретическое и экспериментальное исследование закономерностей изнашивания деталей дизеля типа Д49 / С. М. Овчаренко, В. А. Минаков. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2013. – № 3 (15). – С. 55–61.
4. Изнашивание деталей тепловозного дизеля и способы его снижения / Е. А. Лазарев, С. А. Петухов, В. Е. Лазарев [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 6 (78). – С. 88–93.
5. Анализ причин внеплановой замены моторного масла дизелей тепловозов и мероприятия по их недопущению / Е. А. Лазарев, С. А. Петухов,

В. Е. Лазарев [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 5 (77). – С. 100–109.

6. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион. – Москва : Мир, 1981. – 520 с. – Текст : непосредственный.

7. Красовский, О. Г. Программа численного моделирования рабочего процесса дизеля с различными системами воздухообеспечения / О. Г. Красовский, В. В. Матвеев. – Текст : непосредственный // Повышение надежности и улучшение технико-экономических показателей тепловозных дизелей : труды ЦНИДИ. – Ленинград : ЦНИДИ, 1983. – С. 42–52.

8. Булыгин, Ю. И. Экспериментальное и компьютерное исследование рабочего процесса и токсичности тепловозных двигателей внутреннего сгорания / Ю. И. Булыгин. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2006. – 145 с. – Текст : непосредственный

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петухов Сергей Александрович

Самарский государственный университет
путей сообщения (СамГУПС).
ул. Свободы, 2 В, г. Самара, 443066,
Российская Федерация.
Доцент кафедры «Локомотивы» СамГУПС.
E-mail: sakmara-cite@mail.ru.

Чинченко Денис Сергеевич

Самарский государственный университет
путей сообщения (СамГУПС).
ул. Свободы, 2 В, г. Самара, 443066,
Российская Федерация.
Студент факультета «Подвижной состав и
путевые машины» СамГУПС.
E-mail: chinchen@mail.ru.

Летягин Павел Викторович

Самарский государственный университет
путей сообщения (СамГУПС).
ул. Свободы, 2 В, г. Самара, 443066,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Локомотивы».
E-mail: loony13@bk.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Petuhov Sergei Aleksandrovich

Samara State Transport University (SSTU).
2 V Svoboda str., 443066 Samara,
the Russian Federation.
Candidate in Engineering, Candidate, Candidate of
the department «Locomotives» SSTU.
E-mail: sakmara-cite@mail.ru.

Chinchenko Denis Sergeevich

Samara State Transport University (SSTU).
2 V Svoboda str., 443066 Samara,
the Russian Federation.
Student of the faculty «Rolling stock and track
machines» SSTU.
E-mail: chinchen@mail.ru.

Letyagin Pavel Viktorovich

Samara State Transport University (SSTU).
2 V Svoboda str., 443066 Samara,
the Russian Federation.
Postgraduate student of the Department
"Locomotives".
E-mail: loony13@bk.ru.

Кузнецов Олег Сергеевич

Самарский государственный университет
путей сообщения (СамГУПС).

ул. Свободы, 2 В, г. Самара, 443066,

Российская Федерация.

Ведущий специалист отдела

«Интеллектуальной собственности».

E-mail: olegkusnetsov97@mail.ru.

Oleg Sergeyevich Kuznetsov

Samara State Transport University (SSTU).

2 V Svoboda str., 443066 Samara,

the Russian Federation.

Leading specialist of the "Intellectual property"

Department.

E-mail: olegkusnetsov97@mail.ru.

УДК 629.42:629.4.054, 625.28

О. С. Аблялимов

Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТУ),

г. Ташкент, Республика Узбекистан

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ТРАЕКТОРИИ РЕЖИМА ВЕДЕНИЯ ПОЕЗДА ЛОКОМОТИВАМИ

Обоснованы общие закономерностями изменения характеристик (показателей) режима ведения поезда при различных условиях перевозочного процесса для варианта работы локомотивов дизельной и электрической тяги с учётом заданного времени хода поезда. Получены значения коэффициента полезного действия силовой цепи для некоторых серий тепловозов. Результаты исследований рекомендуются в практику работы локомотивного комплекса железных дорог.

Ключевые слова: исследование, результат, режим, показатель, характеристика, перевозочная работа, нормирование, локомотив, траектория, управление.

Oleg S. Ablyalimov

Tashkent state transport university (TSTU), Tashkent, the Republik of Uzbekistan

ABOUT THE CHARACTERISTICS OF THE TRAJECTORY OF MODE DRIVING OF TRAIN OF THE LOCOMOTIVES

The general regularities of changes in the characteristics (indicators) of the mode of running a train under various conditions of the transportation process for the variant of operation of diesel and electric traction locomotives, taking into account a given train travel time, are substantiated. The values of the efficiency of the power circuit for some series of diesel locomotives were obtained. The research results are recommended for the practice of the locomotive complex of railways.

Keywords: research, result, mode, indicator, characteristic, transportation work, rationing, locomotive, trajectory, control.

При любых имеющихся факторов условий U перевозочной работы локомотивов можно найти конкретные значения расхода энергии E на тягу поездов, обеспечивающего максимальный параметр выигрыша B , то есть $\max B \rightarrow P_T^*$ при соответствующем оптимальном управлении.

Рассмотрим более подробно оптимальную траекторию (режим) управления P_T^* и её характеристики [1] – коэффициент полезного действия η силовой цепи локомотива, показатель режима торможения β и показатель основного сопротивления движения поезда α .

В зависимости от принятого порядка чередования позиций органов управления (n_y) при ведении поезда, траектория движения (изменение фазового состояния) поезда будет представляться участками рабочего хода, холостого хода и торможений. Они будут иметь определённые значения фазовых координат, выражающиеся через значения скорости движения поезда от пути $V = f(S)$, времени хода поезда $t = f(S)$, а также зависимостями $E = f(S)$, $J = f(S)$ и так далее.

Значение фазовых координат рабочего хода определяется позициями контроллера машиниста $n_k(S)$ рабочего хода, а отрезков пути холостого хода и торможений соответствующими траекториями управления при холостом ходе $n_x(S)$ и торможении $n_T(S)$.

На отрезках траектории рабочего хода, при $n_k(S)$ происходит преобразование части подводимой энергии, предназначенной для выполнения силовой работы, в касательную механическую работу A_k , используемую для преодоления работы сил сопротивления локомотива A' , состава A'' и тормозных (искусственных) сил A_T .

Среднее значение коэффициента полезного действия η силовой цепи на участке перевозочной работы локомотивов протяжённостью L , км за поездку

составляет $\eta = \frac{a_E A_k}{E_k}$ [2] или

$$\eta = \frac{a_E}{L} \int_{S_n}^{S_k} \left(\frac{A_k}{E_k} \right)_n ds \quad (1)$$

Так как $A_{kn} = F_{kn} \cdot ds$, а $E_{kn} = e_{kn} \cdot dt = e_{kn} \frac{ds}{V_n}$, то

$$\eta = \frac{a_{\eta}}{L} \int_{S_n}^{S_k} \frac{F_{kn} \cdot V_n}{e_{kn}} ds \quad (2)$$

где F_{kn} – касательная сила тяги, Н (кгс) при скорости V_n км/ч на шаге интегрирования ds , км;

$\epsilon_{\kappa n}$ – силовой поток энергии в единицу времени, кг/ч или кВт (электровозы).

На одном шаге интегрирования, когда $ds = L$, мгновенное (дискретное) значение коэффициента полезного действия η силовой цепи составляет величину

$$\eta_n = \frac{F_{\kappa n} \cdot V_n}{\epsilon_{\kappa n}} \cdot a_E \quad (3)$$

Для тепловозов при $F_{\kappa n}$, Н (кгс), V_n , км/ч, $G_{\Gamma n}$, кг/мин и g_x , кг/мин получим [3].

Аналогично для электровозов постоянного тока

и тоже для электровозов переменного тока

$$\eta_n = \frac{0,109 \cdot 10^{-3} F_{\kappa n} \cdot V_n}{J_{da}} \quad (6)$$

где $J_{\text{эн}}$ и J_{da} – ток, потребляемый тяговыми электродвигателями (активный ток для электровозов переменного тока).

Для выявления возможных границ колебаний указанной величины η удобно использовать (4), (5) и (6), производя подсчёты по данным ПТР [4].

В таблице 1 приведены результаты расчётов величины η_n , где также даны и значения общего коэффициента полезного действия η_{on} тепловозов.

Как видно из таблицы 1 для тепловозов 2ТЭ10Л при всех позициях контроллера машиниста $\eta_n = 0,30 - 0,35$, при этом наибольшие значения получены для седьмой позиции контроллера машиниста $n_k = 7$.

Для тепловоза ТЭЗ получены значения $\eta_n = 0,274 - 0,307$, при этом наибольшие значения составляют для позиций контроллера машиниста - $n_k = 13$ и $n_k = 16$. Колебания общего η_{on} коэффициента полезного действия тепловоза составляют для 2ТЭ10Л от 0,204 до 0,317 и для ТЭЗ от 0,230 до 0,288, что значительно больше колебаний коэффициента полезного действия η_n силовой цепи. Меньшие колебания значений в различных условиях перевозочной работы локомотивов, особенно при малых позициях контроллера машиниста, по сравнению с изменениями общего коэффициента полезного действия локомотива, а также непосредственная связь величины η_n с механической работой касательной силы тяги привели к введению величины η_n в расчёты, как одной из характеристик траектории режима ведения поезда.

Таблица 1

Значения коэффициентов полезного действия η_n силовой цепи и общего η_{on}

(знаменатель) по данным ПТР [4] для некоторых тепловозов

Скорость	2ТЭ10Л				ТЭ3			
V , км/ч	F_k , кГс	G_T , кГ/мин	G_T-g_x , кГ/мин	$\frac{\eta_n}{\eta_{on}}$	F_k , кГс	G_T , кГ/мин	G_T-g_x , кГ/мин	$\frac{\eta_n}{\eta_{on}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$n_k = 15$				$n_k = 16$			
20	61000	16,7	15,94	$\frac{0,30}{0,287}$	41310	11,3	10,6	$\frac{0,306}{0,286}$
30	41400	16,7	15,94	$\frac{0,304}{0,291}$	27160	11,5	10,6	$\frac{0,300}{0,281}$
40	31500	16,7	15,94	$\frac{0,31}{0,296}$	20680	11,3	18,6	$\frac{0,307}{0,288}$
70	18100	16,7	15,94	$\frac{0,31}{0,297}$	11400	11,2	10,5	$\frac{0,297}{0,280}$
80	15800	16,7	15,94	$\frac{0,31}{0,297}$	9450	10,6	9,9	$\frac{0,998}{0,280}$
	$n_k = 9$				$n_k = 13$			
20	38000	9,4	8,64	$\frac{0,343}{0,317}$	30400	8,6	7,9	$\frac{0,3302}{0,278}$
50	14000	8,9	8,14	$\frac{0,338}{0,309}$	11600	8,25	7,55	$\frac{0,302}{0,276}$
70	9600	9,0	8,24	$\frac{0,32}{0,292}$	7200	7,9	7,2	$\frac{0,274}{0,250}$
	$n_k = 7$				$n_k = 11$			
20	27500		6,24	$\frac{0,348}{0,308}$	25600	7,4	6,7	$\frac{0,30}{0,27}$
	17200	6,6	5,84	$\frac{0,347}{0,308}$	16900	7,4	6,7	$\frac{0,298}{0,269}$
50	10400	6,5	5,74	$\frac{0,350}{0,314}$	9200	6,8	6,1	$\frac{0,297}{0,265}$
70	6000	5,6	4,84	$\frac{0,341}{0,294}$	6100	6,4	5,7	$\frac{0,294}{0,262}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$n_k = 5$				$n_k = 8$			
30	10400	4,4	3,64	$\frac{0,337}{0,279}$	12000	5,5	4,8	$\frac{0,294}{0,256}$
50	6000	4,2	3,44	$\frac{0,342}{0,280}$	6000	5,0	4,3	$\frac{0,274}{0,237}$
60	4000	3,8	3,04	$\frac{0,31}{0,248}$	4050	4,55	3,85	$\frac{0,247}{0,208}$
	$n_k = 3$				$n_k = 4$			
10	10500	2,05	1,29	$\frac{0,319}{0,200}$	24000	3,8	3,1	$\frac{0,302}{0,247}$
20	5200	2,0	1,24	$\frac{0,329}{0,204}$	10400	3,55	2,85	$\frac{0,285}{0,230}$

Величины η_n и η_{on} на каждой позиции котроллера машиниста меняются сравнительно в небольших пределах при изменении скорости движения поезда, тогда как при изменении позиции котроллера машиниста значения η_n меняются значительно больше.

В связи с этим для каждой позиции котроллера машиниста были найдены средние значения коэффициента полезного действия η_k силовой цепи и общего $\eta_{ок}$ коэффициента полезного действия тепловоза при данной позиции котроллера машиниста, анализ значений которых показал, что для тепловоза 2ТЭ10Л выгодно чаще применять промежуточные позиции котроллера машиниста – это 6 – 10 позиции, а для тепловозов ТЭЗ и ТЭ2 эффективнее использовать, соответственно, 14 - 16 и 3 - 5 позиции котроллера машиниста.

Поэтому большое значение приобретают работы [5 и другие], в которых исследуются возможности повышения коэффициента полезного действия тепловозов на промежуточных позициях котроллера машиниста.

Для электровозов $\eta_k = \eta_{э}$, то есть значения коэффициента полезного действия силовой цепи равны значениям коэффициентов полезного действия тяговых электродвигателей и редуктора.

Величина η_k для электровозов постоянного тока с тяговыми электродвигателями НБ - 406, как правило, колеблется в пределах 0,86 - 0,90 единиц, при этом наибольшие значения соответствуют току электродвигателей НБ – 406 равному $I_d = 200 - 400$ А.

Таким образом, сочетания позиций котроллера машиниста и скоростей движения поезда, для которых ток электродвигателей будет находиться в

указанных пределах, являются наивыгоднейшими (наилучшими) по коэффициенту полезного действия силовой цепи. Машинист по возможности должен переходить на такие позиции контроллера машиниста, при которых в данных условиях движения поезда будет реализовываться ток электродвигателя $I_d = 200 - 400$ А.

Результаты подсчёта величины η_n по данным ПТР [4] показывают возможные колебания средних значений коэффициента полезного действия силовой цепи при изменении скорости и смене позиций контроллера машиниста для тепловозов или тока тяговых электродвигателей электровозов.

Следует отметить, что дискретные значения величины η_n электровозов в зависимости от тока $\eta_n(I_d)$ отличаются от их средних значений коэффициента полезного действия η_k силовой цепи лишь на $0,5 \div 1,0$ процента, а для тепловозов такие отклонения составляют приблизительно $1,0 - 2,0$ процента.

Принятые в расчёты средних за поездку значений η позволит машинистам ещё находить определённые резервы экономии энергии за счёт выбора более выгодных позиций контроллера машиниста, хотя у некоторых машинистов с недостаточным опытом вождения поездов возможностей этого и не будет.

Поэтому освоение рекомендуемых норм расхода энергии потребует изучения и применения наиболее рациональных режимов ведения поезда.

Позициями органов торможения будут определяться значения второй характеристики режима управления P_t , связанной с расходом энергии на торможения

$$\beta = \frac{E_t}{E_k^p} \quad (7)$$

При торможениях поглощается часть энергии уже преобразованной в касательную механическую работу с тем или иным коэффициентом полезного действия η силовой цепи, поэтому величину E_t можно выразить через известные величины A_k и η , а именно:

$$E_t = \frac{a_E \cdot A_t}{\eta} = \frac{A_k - (A' + A'')}{\eta} a_E. \quad (8)$$

В общем случае торможением может поглощаться, как подводимая энергия, так и потенциальная или кинетическая энергия поезда.

Если касательная работа равна $A_k = 0$, тогда торможением поглощается потенциальная энергия, связанная с изменением положения центра тяжести поезда, поэтому расход подводимой энергии на торможение будет равен нулю.

Характеристика торможения β показывает, какая доля от подведённой на касательную работу энергия при средних условиях варианта работы ВР израсходована на торможения, то есть

$$E_{\text{т}} = \beta E_{\text{к}}^p. \quad (9)$$

Общей характеристикой данного режима является величина $\alpha = \frac{w_{\text{ос}}}{w_o}$,

которой оценивается траектория режима ведения по основному сопротивлению движения поезда. Эта величина определяется расчётами на ЭВМ и может быть выявлена отдельно по сопротивлению движению локомотива, состава и поезда. В целом величина α является результатом выбора режимов рабочего хода, холостого хода и торможений.

Общими закономерностями изменения характеристик (показателей) η , α и β режима ведения поезда при изменении величин Q , m , t и z для варианта работы при локомотивах дизельной тяги (например, тепловозы 2ТЭ10М, В, Л) и заданного времени хода будут следующие:

- с увеличением веса (массы) Q величина η снижается, а показатели α и β увеличиваются;
- при увеличении числа осей m в составе снижается η , но увеличивается показатель α , а показатель β при этом, уменьшается;
- с увеличением числа остановок z снизится величина η и возрастут показатели α и β .

Увеличение времени хода поезда при прочих равных условиях, приведёт к увеличению величины η , а также к уменьшению показателей α и β . Однако характер этих изменений для каждого варианта работы ВР будет различным и выявится по результатам расчётов на ЭВМ. Возможно выявление закономерностей изменения показателей η , α и β не только на участке в целом, но и на отдельных перегонах, отдельных элементах профиля пути (на подъёме, части участка железнодорожного пути, до конца подъёма и так далее).

Результаты данного исследования могут быть использованы в практике работы локомотивного комплекса при изыскании возможностей снижения расхода топливно – энергетических ресурсов локомотивами на тягу поездов за счёт оптимальных режимов вождения поездов на различных по трудности участках железных дорог, в том числе узбекских.

Список литературы

1. Толкачёв, А. В. Расчёты норм расхода энергии на перевозочную работу локомотивов методом расчленения / А. В. Толкачёв. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1973. – Выпуск 100. – С. 43–54.
2. Абляимов, О. С. Исследование возможностей снижения расхода топлива тепловозами на тягу поездов за счёт оптимальных режимов вождения

поездов на САЗ ж. д. / А. В. Толкачёв, О. С. Аблялимов // Научно - технический отчёт ТашИИТ, ВНИТЦ № 79028894, инв. № Б836191 / Ташкентский ин-т. инж. ж-д трансп. – Москва, 1979. – 67 с. – Текст : непосредственный.

3. Строков, Г. Н. Больше внимания настройке тепловозов на промежуточных позициях / Г. Н. Строков, М. М. Дружинин. – Текст : непосредственный // Электрическая и тепловозная тяга. – 1972. – № 3. – С. 11–15.

4. Правила тяговых расчётов для поездной работы / Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с. – Текст : непосредственный.

5. Peter, Hozh Uber die Auwendung des Maximum Prinzips von Pontrjagin zur Ermittlung von Alghoritmen fur line energieoptimule Zugstouerung / Hozh Peter, Wissz Hochsch. // Verkehrs Duden. – 1971. – №4 (18). –PP. 919-934.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Аблялимов Олег Сергеевич

Ташкентский государственный
транспортный университет (ТГТУ).
ул. Элтузар, д. 25, г. Ташкент, 100167,
Республика Узбекистан.

Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, и.о. профессора
кафедры «Локомотивы и локомотивное
хозяйство» ТГТУ.

Тел. +998371-254-52-16.

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Tashkent state transport university (TSTU).
25, Eltuzar str., Tashkent, 100167,
the Republik of Uzbekistan.

Doctor of philosophy, chief scientific worker,
acting professor of the chair «Locomotives
and locomotive, economy» TSTU.

Phone: +998371-254-52-16.

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

С. Г. Истомин, Е. Г. Авдиенко

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

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ
ДОРОГ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОРЫВНЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В статье проведен обзорный анализ существующих способов и средств, сбора данных, которые могут быть задействованы в повышении энергоэффективного управления подвижным составом.

Ключевые слова: электроподвижной состав, автоведение, цифровая железная дорога, энергооптимальный путь.

Stanislav G. Istomin, Egor G. Avdienko

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

**ANALYZE METHODS AND MEANS OF INCREASING ELECTRIC
MOTIVE POWER ATTENDANCE EFFICIENCY EFFECT
BASED ON BREAKTHROUGH INFORMATION TECHNOLOGIES**

The article provides an overview analysis of the methods and means of data collection that can be used to improve the energy efficient management of rolling stock.

Keywords: electric rolling stock, driving science, digital railway, energy-optimal track.

В настоящее время в компании ОАО «РЖД» разработана стратегия цифровой трансформации холдинга, которая полностью интегрирована с Указом Президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», программой «Цифровая экономика Российской Федерации» и Долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 года. В рамках реализации Долгосрочной программы комплексный научно-технический проект «Цифровая железная дорога» имеет цель повысить

конкурентоспособность и эффективность деятельности холдинга «РЖД» за счет применения прорывных информационных технологий [1-3]:

- технологии «Industrial Internet of Things» (Промышленный Интернет Вещей) и «Big Data» (Большие Данные) для автоведения, учитывающего заданный график движения поездов, возможности инфраструктуры, команды диспетчерских центров, техническое состояние подвижного состава и статусы ближайших участников движения; для постоянного сбора первичных данных о состоянии подвижного состава и объектов инфраструктуры с последующим формированием комплексного описания объектов в целях управления их жизненным циклом, контроля состояния подвижного состава в движении, цифровой диагностики объектов инфраструктуры, а также оперативного взаимодействия с участниками производственной деятельности и поставщиками;

- технология «Imitation Modeling» (Имитационное Моделирование) для управления вагонами и локомотивами, позволяющая определять оптимальный режим работы подвижного состава с учётом его местонахождения, владельца, статуса, планов использования и технического состояния, а также резервировать вагономеста с целью повышения коэффициента полезного использования подвижного состава.

Приоритетными направлениями развития перехода к современным методам и средствам управления подвижным составом, согласно программе являются:

- реализация технологических процессов обслуживания инфраструктуры и организация системы «беспилотного движения поездов» на основе создания цифровой модели инфраструктуры на базе геоцентрической системы координат;

- унификация систем управления движением пригородных поездов и поездов метрополитена в крупных мегаполисах;

- создание нового поколения бортовых систем безопасности с использованием компьютерных технологий с элементами искусственного интеллекта;

- разработка нормативно-регламентирующей базы и технологий сбора и обработки информации.

В России компания «АВП ТЕХНОЛОГИЯ» разрабатывает такие системы как: автоведение, мониторинг и контроль, информирование машиниста,

регистрация параметров. Определённые данные с этих систем поступают в различные блоки управления на подвижном составе для их визуального отображения перед локомотивной бригадой. Недостатком их систем является разрозненность данных поступающих для идентификации и отображения.

За рубежом, этот вопрос тоже подвергается многочисленным исследованиям. Учёные из Нидерландов и Австралии [4] попытались модернизировать некоторые их системы: MMTС (minimum time train control) и EETC (energy-Efficient Train Timetabling). Они предлагают различные пути повышения энергоэффективного управления на основе динамического программирования несколькими методами (прямой и косвенный).

1) Косвенный метод. Этот метод основывается на работе алгоритма «The Energymiser». Он использует расстояние как независимую величину, распределённую массу поезда для построения изменённого уклона пути, так что поезд моделируется как точка для дальнейшего расчёта скорости по этому пути.

2) Прямой метод. В данном случае используется однофазная модель псевдоспектрального метода Radau между двумя точками на основе работы алгоритма «PROMO». В базовой схеме однофазной модели рассчитывается оптимальная траектория движения, что позволит снизить расходы электроэнергии между двумя остановками. В данных расчётах время рассматривается как независимая величина, это позволит получить более точные результаты, по сравнению, если расстояние являлось независимой величиной. Но для того чтобы рассчитать оптимальное время нахождения в пути для нескольких секций, будет использоваться многофазная модель «Wang and Goverde». Каждая фаза определяется как часть траектории между двумя остановками и соединённые которые линиями связи. Из их модели берётся больше деталей построения оптимальной системы управления. В фазу включатся промежуточные остановки с промежуточными событиями для ограничения скорости. Затем алгоритм «PROMO» рассчитывает оптимальное время нахождения в пути подвижного состава с одновременной минимизацией потребления энергии каждой секции.

Учёные из Швейцарии [5] предложили иной способ повышения энергоэффективного управления подвижным составом. Ими предложен способ добавления аэродинамического сопротивления в уравнение движения среды. В дополнение к этому, разработано программное обеспечение для анализа и обработки всех данных в реальном времени в зависимости от силы ветра по участку пути.

В таблице 1 представлены направления зарубежных учёных, за счёт которых стремятся добиться снижения потребления электроэнергии подвижным составом.

Таблица 1

Направления развития вопросов снижения потребления электроэнергии подвижным составом в мире

Публикации	Контроль	Метод	В реальном времени	Различные параметры		Тип транспорта			
				V	уклон	ВСНТ	пригородный	грузовой	метро
Ichikawa (1968)	C	E							x
Strobel et al. (1974)	C	E	x						x
T. Albrecht and Oettich (2002)	C	E	x						x
Milroy (1980)	C	E	x						x
Howlett (1990)	C	E	x			x			x
Cheng and Howlett (1992)	D	E	x					x	
Cheng and Howlett (1993)	D	E	x					x	
Howlett et al. (1994)	D	E		x	x			x	
Howlett (1996)	D	E	x		x			x	
Cheng (1997)	D	E	x	x	x			x	
Van Dongen and Schuit (1989a,b, 1991)	C	A		x	x	x			
Howlett and Pudney (1995)	C, D	E	x	x	x	x	x	x	x
Howlett (2000)	C, D	E	x		x	x	x	x	x
Oettich and Albrecht (2001)	C	E		x	x	x			x
T. Albrecht (2014)	C	E		x	x	x			x
Liu and Golovitcher (2003)	C	E	x	x	x	x			x
Vu (2006)	C	E		x	x				
Howlett et al. (2009)	C	E	x	x	x			x	
A. Albrecht et al. (2013a)	C	E		x	x				
A. Albrecht et al. (2013b)	C	E	x	x	x	x			
A. Albrecht et al. (2014)	C	E		x	x	x	x	x	x
A. Albrecht et al. (2015b,c)	C	E	x	x	x	x	x	x	
Lechelle and Mouneimne (2010)	C	A	x	x	x				x
Domínguez et al. (2011)	C	A		x	x				x
Aradi et al. (2013)	C	E		x	x	x			
Chevrier et al. (2013)	C	E		x	x	x			
Lu et al. (2013)	C	A/E		x	x				x
Rodrigo et al. (2013)	C	E		x		x			
Scheepmaker and Goverde (2015)	C	E		x	x	x			
Su et al. (2013)	C	A		x					x
Su et al. (2014)	C	A		x	x				x
T. Albrecht et al. (2013c)	C	E	x	x	x	x			x
Jaekel and Albrecht (2013)	C	E	x	x	x	x			x
ON-TIME (2014a)	C	E	x	x	x	x		x	
Qu et al. (2014)	C	E		x	x	x			

В таблице 1 C – непрерывный контроль, D – дискретный контроль, E – точный метод, A – метод аппроксимации.

По данным таблицы 1 можно сказать, что учёные предпочитают использовать непрерывный способ ведения поезда при помощи программы РМР с встроенным алгоритмом поиска точных решений в течении движения. Но также некоторые из них предпочитают пользоваться дискретным способом

управления и использовать метод аппроксимации для дальнейших расчётов. В основном ученые занимаются методами снижения потребления электроэнергии для пригородного и грузового подвижного состава, а также используют эти методы в системе метрополитена.

В качестве перспективы дальнейшей проработки темы исследования предполагается усовершенствовать методы и средства повышения эффективности эксплуатации электроподвижного состава в части учета таких параметров, как график движения, возможность инфраструктуры, команды диспетчерских центров и статусы ближайших участников движения. Все указанные параметры при сборе и обработке данных в процессе движения будут синхронизированы в поток информации и переданы в систему «Автоведение» для энергоэффективного управления подвижным составом, что позволит реализовать универсальную современную систему для построения энергооптимального пути.

Список литературы

1. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» № 466р. : утверждена Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018. / Правительство Российской Федерации. – Москва, 2019. – 135 с.
2. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» № 466р. : утверждена Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2018. / Президент Российской Федерации. – Москва, 2018. – 19 с.
3. Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога» № 1285р. : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 05.12.2017. / ОАО «РЖД». – Москва, 2017. – 92 с.
4. Optimal running time supplement distribution in train schedules for energy-efficient train control / G. M. Scheepmaker, P. J. Pudney, A. R. Albrecht [et al.]. – Text: direct // Journal of Rail Transport Planning and Management – №14. – Article № 100180.
5. Trivella, A. The impact of wind on energy-efficient train control / Alessio Trivella, Pengling Wang, Francesco Corman. – Text: direct // Institute for Transport Planning and Systems. – Switzerland : ETH Zürich.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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.

Авдиенко Егор Геннадьевич

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.
E-mail: sleyter.ua@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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.

Avdienko Egor Genndievich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Graduate student of the department "Rolling
stock of electric railways" OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-34-19 .
E-mail: sleyter.ua@gmail.com.

УДК 629.4.016

А. С. Анисимов, Н. А. Белоглазова, В. О. Носков

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ОХЛАЖДЕНИЯ И ПРОГРЕВА ВОДЯНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВОЗА

В статье рассмотрены режимы охлаждения и нагрева водяной системы тепловозного дизеля в условиях низкой температуры окружающего воздуха. В большей степени уделено внимание описанию характерных особенностей интенсивности охлаждения теплоносителей водяной системы тепловозного дизельного двигателя. Представлены результаты исследования влияния температуры наружного воздуха на работу водяной системы тепловоза. Работа направлена на повышение эффективности использования дизельного топлива при прогреве тепловоза за счет снижения времени работы дизеля на холостом ходу.

Ключевые слова: Водяная система тепловоза, холостой ход, режим прогрева, самопрогрев.

Alexander S. Anisimov, Nataliya A. Beloglazova, Vitaly O. Noskov

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

EXPERIMENTAL STUDIES OF COOLING AND HEATING MODES OF THE WATER SYSTEM OF A LOCOMOTIVE

The article deals with the cooling and heating of individual components and assemblies diesel engines at low ambient temperatures. The more attention is paid to the description of the characteristics of the intensity of the cooling water system of diesel locomotive engines. The article presents the results of investigation of the outdoor temperature, operating conditions of load and no-load on the cooling system of. The parameters of the cooling water and engine oil that characterize the thermal conditions of the diesel engine. We reviewed and analyzed various ways of warming systems, diesel engines using airborne and stationary devices. The work is aimed at improving the efficiency of diesel locomotive at warming by reducing the operating time of the diesel engine is idling.

Keywords: diesel engine, idling, heat transfer, heat transfer coefficient, the cooling system of a diesel engine, diesel, heating temperature.

По условиям эксплуатации в зимний период тепловозы значительное время должны находиться в горячем резерве, т. е. должны быть готовыми к работе. В связи с этим в условиях отрицательной температуры окружающей среды дизель тепловоза не глушится, чтобы избежать значительного охлаждения воды и моторного масла. При низкой температуре окружающей среды неработающий тепловоз горячего резерва практически все время стоит с работающим на холостом ходу дизелем [1].

Статистические данные по работе тепловозов серии ТЭМ18ДМ на режимах холостого хода его энергетической установки, как во время движения, так и в период прогревов при стоянках (на тракционных путях депо), показывают, что расход топлива составляет до 30 % от общего расхода. Работа тепловоза на малых нагрузках также составляет значительную часть эксплуатационных режимов. На рисунке 1 представлено распределение времени работы дизельного двигателя тепловоза ТЭМ18ДМ в зависимости от позиции контроллера машиниста [1].

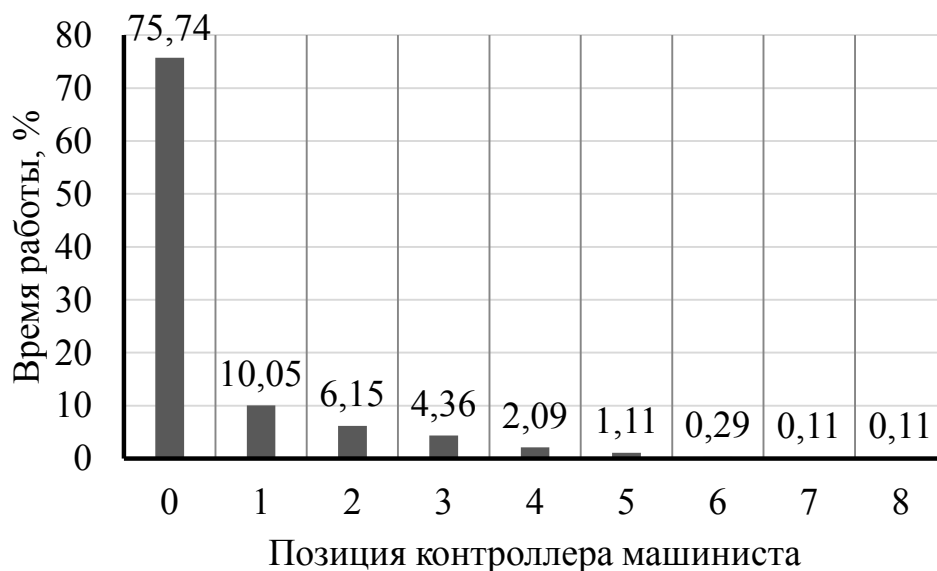


Рисунок 1 – Распределение времени работы дизеля от позиции контроллера машиниста

Такой режим работы тепловоза не только приводит к непроизводительному расходу топлива, но и вызывает разжижение моторного масла из-за некачественного распыла дизельного топлива, что приводит к значительному износу деталей дизеля [2].

В технической литературе рассматриваемым вопросам уделяется явно недостаточное внимание. Нет надежных сведений о режимах охлаждения и прогрева силовой установки неработающего тепловоза в зависимости от температуры окружающей среды. В тоже время можно предположить, что такие элементы тепловоза, как дизель, водяная система тепловоза и др., отличающиеся массивностью, условиями работы, размещением по отношению к окружающей среде, должны обладать различными темпами нагревания и охлаждения. Эти особенности, очевидно, следует учитывать как при конструировании, так и при эксплуатации локомотивов [3].

Согласно распоряжению компании ОАО «РЖД» ЦТ-24/р «Инструкция по прогреву тепловозов при отстое на тракционных путях локомотивных депо и пунктах оборота» при температуре окружающего воздуха ниже минус 15 °С, дизель не глушится, работа происходит в режиме самопрогрева [4].

При таком способе дизель работает циклично (рисунок 2).

Согласно данному графику, при охлаждении теплоносителей до минимального допустимого уровня (согласно инструкции не менее + 40 °С) производится повышение позиции контроллера машиниста. Затем работой

дизеля на повышенной позиции контроллера машиниста в течение времени осуществляется его прогрев до уровня рабочей температуры теплоносителя, после чего дизель работает на холостом ходу и снова охлаждается в течение времени до минимально допустимого значения температуры теплоносителя.

Рисунок 2 – Самопрогрев дизеля тепловоза в циклическом режиме

В процессе наблюдений температура воды горячего контура фиксировалась по аппаратно-программным комплексом «Борт», установленным на тепловозе. Погрешность измерения фактического значения температуры воды горячего контура составляет не более $\pm 0,5$ °С, что обеспечивает получение необходимой достоверности опытов.

Исследования заключались в прогреве тепловоза до рабочей максимальной температуры воды горячего контура от 65 – 80 °С, после чего, позиция контроллера машиниста устанавливалась на нулевую и дизель тепловоза работал в режиме холостого хода.

На рисунке 3 представлены результаты экспериментальных исследований, а именно зависимость температуры воды горячего контура от времени ее охлаждения.

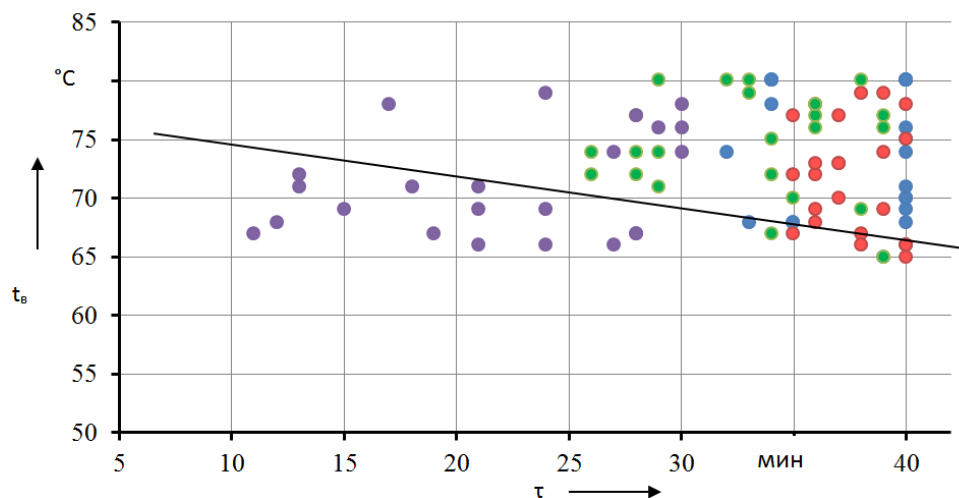


Рисунок 3 – Зависимость температуры воды горячего контура от времени ее охлаждения

В результате обработки полученных экспериментальных данных (см. рисунок 3) можно заключить, что при температуре окружающего воздуха ниже $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ время охлаждения воды в горячем контуре водяной системы тепловоза составляет не более 30 мин. По результатам экспериментальных исследований определена динамика охлаждения воды на входе в дизельный двигатель тепловоза серии ТЭМ18ДМ (рисунки 4 и 5) от температуры окружающей среды.

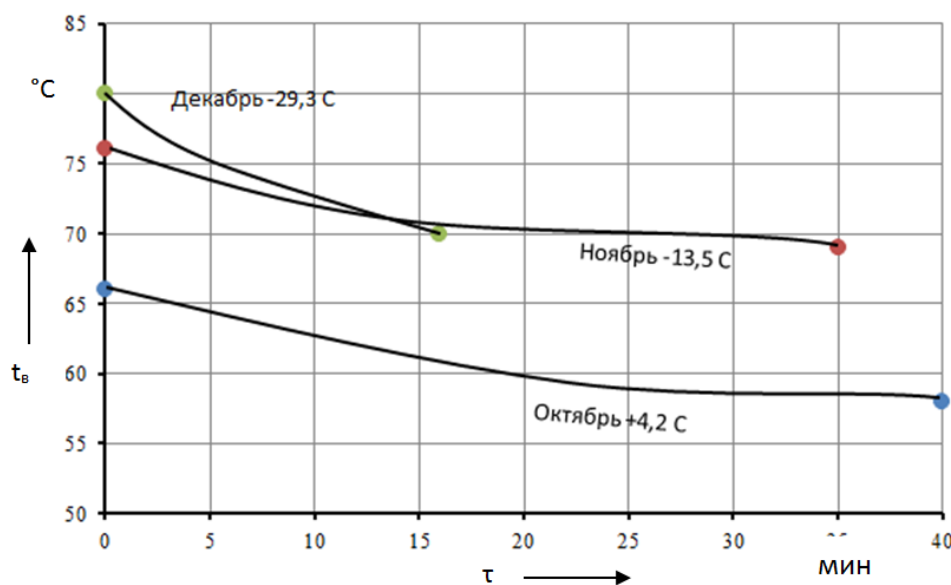


Рисунок 4 – Темп охлаждения воды на входе в дизель тепловоза ТЭМ18ДМ

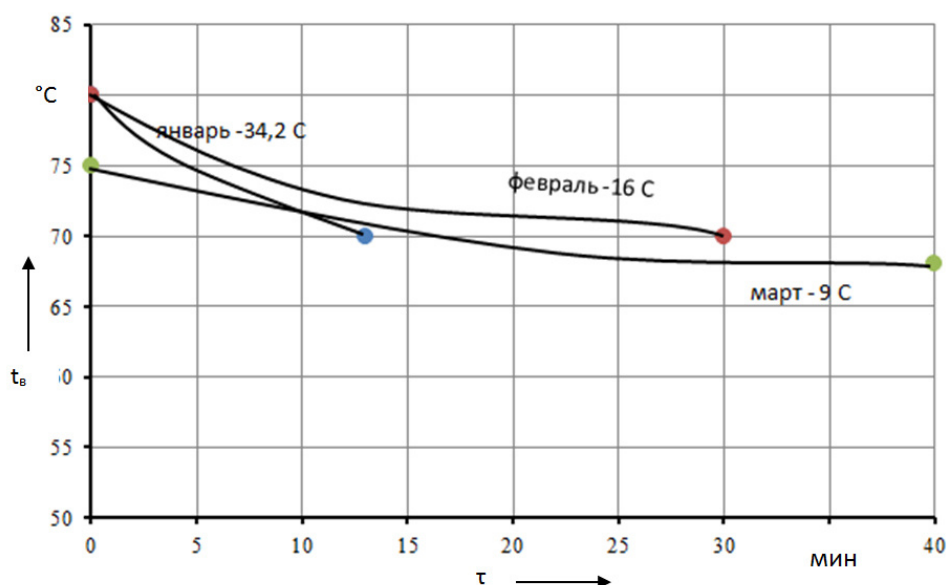


Рисунок 5 – Темп охлаждения воды на входе в дизель тепловоза ТЭМ18ДМ

Анализируя полученные зависимости можно сказать, что тепловоз, работая в режиме холостого хода, может оставаться в таком режиме в течение 15 минут при температуре $t_0 = -25 -34$ °С, или в течение 40 минут при $t_0 = +4,2 - 15$ °С.

Результаты проведенных экспериментальных исследований не дают полного представления о характере изменения температуры в исследуемых объектах, так как опыты проводились на одном типе тепловоза, с минимальным числом значений температуры окружающей среды [5].

Проведенные испытания маневрового тепловоза ТЭМ18ДМ показали, что лимитирующими элементами режима охлаждения тепловоза является его водяная система.

Таким образом, первым выводом по результатам проведенных испытаний должно быть предложение об улучшения тепловой изоляции шахты холодильника тепловозов.

Так как при работе тепловоза дизель и холодильник должны хорошо охлаждаться, то при создании тепловозов конструкция ограждения этих элементов выполнялась, прежде всего, с расчетом на обеспечение достаточного охлаждения соответствующих теплонапряженных элементов. Однако необходимо принимать во внимание условия эксплуатации маневровых тепловозов в зимнее время и возможное изменение конструкции ограждения с таким расчетом, чтобы в летнее время обеспечивалась хорошая вентиляция подкапотного пространства, а в зимнее время при неработающем тепловозе –

надежная тепловая защита отмеченных частей силовой установки от интенсивного охлаждения.

Если учесть длительность периода с отрицательной температурой окружающей среды в нашей стране, то станет совершенно очевидной актуальность вопросов об изменении конструкции в первую очередь маневровых локомотивов, которые по условиям их эксплуатации значительное время находятся в нерабочем состоянии.

Одним из возможных вариантов решения рассматриваемой задачи следует считать применение на тепловозе вспомогательного дизель-генератора малой мощности. Такой дизель-генератор должен быть включен по воде в систему ее циркуляции в основном дизеле, а выработанная им энергия пойдет на подогрев воды в специальном электрическом котле-подогревателе. При неработающем тепловозном дизеле циркуляция подогретой воды обеспечивается дополнительным насосом с электроприводом, тем самым сокращается расхода топлива в режиме самопрогрева дизеля тепловоза, и увеличивается его моторесурс за счет исключения времени работы на холостом ходу.

Список литературы

1. Белоглазов, А. К. Влияние температуры окружающей среды на работу системы охлаждения тепловоза и его агрегатов / А. К. Белоглазов, В. О. Носков, А. В. Чулков. – Текст: непосредственный // Известия Транссиба – 2015. – № 4 (24). – С. 11-17.
2. Хомич, А. А. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов / А. Э. Симсон, А. А. Хомич, А. З. Куриц. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1987. – 536 с. – Текст: непосредственный.
3. Эксплуатация тепловозов в различных климатических условиях: учебник / А. Д. Беленький, Н. И. Дмитриев, Ю. З. Перельман [и др.] ; под общей редакцией А. Д. Беленький. – Москва : Транспорт, 1971. – 255 с. – Текст: непосредственный.
4. Режимная карта прогрева тепловозов : 2 марта 2015 г. – Западно-Сибирская дирекция тяги.
5. Маханько, М. Г. Исследование теплотехнических вопросов транспорта / М. Г. Маханько, С. Г. Грищенко. – Москва : Транспорт, 1976. – 100 с. – Текст: непосредственный.

6. Носков, В. О. Повышение эффективности использования и совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов / В. О. Носков, В. К. Фоменко, Р. Ю. Якушин, М. А. Полковников. – Текст: непосредственный // Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в системах ремонта и эксплуатации : сборник научных трудов / Омский гос. ун-т путей сообщения ; под ред. В. О. Носков. – Омск, 2014. – С. 43–48.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Носков Виталий Олегович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Старший Преподаватель кафедры
«Локомотивы» ОмГУПС.
Тел: +7 (923) 690 47 06.
E-mail: Vitalik_noskov@mail.ru.

Анисимов Александр Сергеевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Локомотивы» ОмГУПС.

Белоглазова Наталья Анатольевна

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Информатика и компьютерная
графика» ОмГУПС.
Тел: +7 (905) 923 10 50.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Noskov Vitaly Olegovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st, Omsk, 644046,
the Russian Federaton.
Senior lecturer of the department
«Locomotive» OSTU.
Phone: +7 (923) 690 47 06.
E-mail: Vitalik_noskov@mail.ru.

Anisimov Alexander Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st, Omsk, 644046,
the Russian Federaton.
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the department «Locomotive»
OSTU.

Beloglazova Nataliya Anatolevna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st, Omsk, 644046,
the Russian Federaton.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the department
«Locomotive» OSTU.
Phone: +7 (905) 923 10 50.

Д. Ю. Белан, А. М. Яковлев

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

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛОДОЧНЫХ И ДИСКОВЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В данной статье рассматриваются конструктивные особенности колодочных и дисковых тормозных систем для выявления наиболее эффективных при эксплуатации железнодорожного подвижного состава в соответствии с техническими и экономическими показателями.

Ключевые слова: локомотив, вагон, тормозное оборудование, коэффициент трения, показатели эффективности.

Dmitry Y. Belan, Anton M. Yakovlev

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

ANALYSIS OF EFFICIENCY INDICATORS OF SHOE AND DISC BRAKE SYSTEMS OF RAILWAY ROLLING STOCK

This article discusses the design features of shoe and disc braking systems to identify the most effective in the operation of railway rolling stock in accordance with technical and economic indicators.

Keywords: locomotive, carriage, brake equipment, coefficient of friction, performance indicators.

В настоящее время колодочные тормоза устарели, как конструкция, и как сам вид тормозного оборудования, и требуют замены новыми дисковыми тормозами, которые превосходят колодочные по техническим и экономическим показателям. Они характеризуются большей износостойкостью, надежностью и эффективностью.

Колодочные тормоза используются на локомотивах, грузовых вагонах и на большинстве пассажирских вагонов. На железных дорогах РФ почти все

грузовые и часть пассажирских вагонов оборудованы композиционными (из искусственных материалов) тормозными колодками вместо повсеместно используемых чугуновых. Современный подвижной состав, предназначенный для высокоскоростного движения, оборудуют противоюзными регуляторами, которые обеспечивают реализацию тормозной силы на грани сцепления колес с рельсами. Пассажирский подвижной состав, оборудованный электропневматическим тормозом с чугуновыми тормозными колодками, может обращаться по условиям необходимой эффективности торможения со скоростями до 120 км/ч. Скоростное регулирование силы нажатия тормозных колодок позволяет увеличить скорости движения пассажирских поездов до 140 км/ч, а в отдельных случаях и до 160 км/ч [1]. Малогабаритные тормозные блоки для колодочных тормозов применяются на высокоскоростном подвижном составе. Блок рассчитан на обслуживание одной тормозной колодки и собран в тормозном цилиндре диаметром 170 мм, где размещается силовая часть (рисунок 1). Винтовой шток 8 шарнирно соединяется с тормозным башмаком, однако не имеет непосредственного соединения с поршнем 2, который уплотнен манжетой 3 и расположен в корпусе 1. Внутри поршня размещен вкладыш 4 с конической внутренней поверхностью. Имеются поршни, у которых коническая поверхность выполнена заодно с поршнем. Вкладыш имеет коническую расточку на 60° меньшим диаметром к торцевой стенке поршня [2].

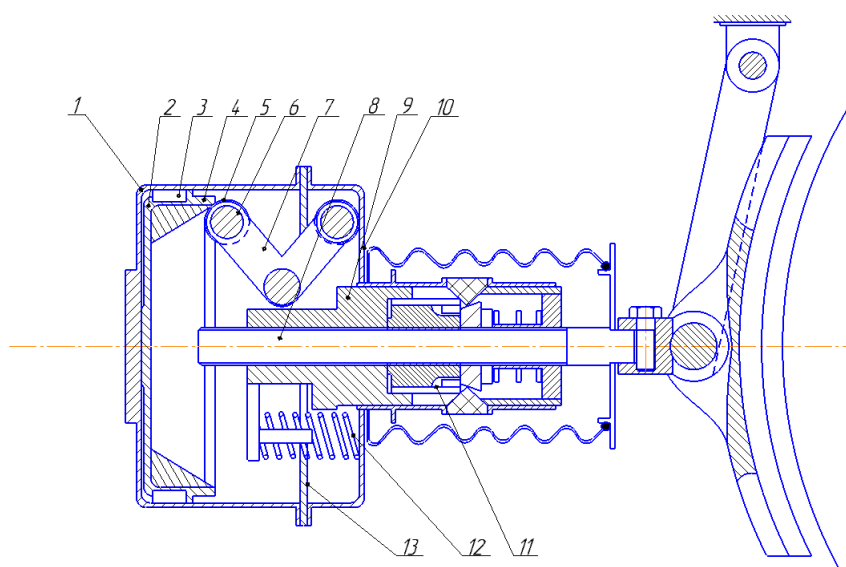


Рисунок 1 – Эскиз колодочного тормоза:

1 – корпус, 2 – поршень, 3 – манжета, 4 – вкладыш, 5 – ролик, 6 – палец, 7 – рычаг, 8 – шток, 9 – стержень, 10 – цилиндр, 11 – гайка, 12 – пружины, 13 – диск

На расточенную поверхность опираются ролики 5, вращающиеся на пальцах 6. Пальцы установлены на трех угловых двуплечих рычагах, расположенных по окружности под углом 120° . Угол каждого из рычагов составляет 90° . Рычаги также имеют возможность поворачиваться на шарнирных соединениях с осями. На других плечах рычагов 7, между диском 13 и крышкой 10 цилиндра, также расположены ролики, вращающиеся на пальцах. Рычаги обеспечивают передачу усилия от поршневого кольца 2 и вкладыша 4 к полному стержню 9. В расточке цилиндра 10, который может свободно перемещаться по винтовому штоку 8, расположена гайка 11 с не самотормозящейся резьбой. При перемещении поршня 2 вправо пальцы 7 через полный стержень 9 зажимают гайку 11, не допуская ее вращения. Шток 8 перемещается вправо вместе со стержнем 9, и тормозная колодка прижимается к колесу. При отпуске тормоза, когда давление на поршень 2 снижается, винтовой шток 8 вместе с тормозной колодкой отходит от колеса под действием пружин 12, которые отодвигают полный стержень 9 влево. После перемещения полого стержня на 7 мм нажатие на гайку 11 уменьшается, и далее ее перемещение влево происходит с вращением по не самотормозящейся резьбе штока 8, а шток вместе с тормозной колодкой остается на месте. Регулятор обеспечивает постоянный зазор между бандажом и колодкой, который устанавливается 7 мм, что достигается усилием прижатия гайки 11 полным стержнем 9. Зазор между колодкой и колесом поддерживается в эксплуатации постоянным при максимальном ходе 13 мм штока 8. Тормозной блок для дискового тормоза применяется на скоростных пассажирских вагонах, выпускаемых в Германии. Блок обслуживает две накладки дискового тормоза, размещенные на одном диске. На оси колесной пары может быть смонтировано до четырех блоков. Система торможения скоростного вагона с дисковым тормозом имеет свой регулятор, поддерживающий вращение тормозящей колесной пары с некоторым замедлением относительно скорости движения экипажа. Благодаря этому производится очистка поверхности катания колеса и повышается уровень сцепления колес с рельсами. На вагонах, которые являются высокоскоростными, используются дисковые тормоза, тормозная сила которых создается за счет прижатия специальных фрикционных накладок к поверхности тормозных дисков, закрепленных на колесной паре. Такими тормозами могут быть оснащены вагоны поездов метрополитена, дизель-поездов и некоторых электропоездов и вагоны трамвая. Дисковые тормоза с

композиционными тормозными накладками, исключаяющие тепловые нагрузки тормозов, позволяют реализовать скорости движения до 160 км/ч. Однако наблюдаются нарушения сцепления колес с рельсами вследствие загрязненности поверхности катания колес и ухудшения шунтировки рельсовых цепей. Поэтому дисковые тормоза применяют обязательно с противоюзными устройствами, причем в последнее время выявилась необходимость использования при этих тормозах электронных противоюзных устройств, работающих не только по принципу абсолютной величины замедления частоты вращения колес, но и на сравнении частоты вращения всех колесных пар вагона. В скоростных поездах все более чаще и обширнее применяются совмещенные (комбинированные) системы торможения — дисковые тормоза с дисками на оси колесной пары с композиционными накладками и фрикционные тормоза с чугунными колодками, прижимаемыми к поверхности катания колес вагона. Дисковые тормоза позволяют избежать образования термических трещин на поверхности катания колеса. Дисковые тормоза обеспечивают высокую тормозную эффективность, особенно при высоких скоростях (160 км/ч и более). Кроме того, по сравнению с колодочным тормозом устраняются перегревы колес, ненормальные выработки на их поверхности катания. Дисковые тормоза вследствие отсутствия воздействия на поверхность катания колес устраняют термическую нагрузку на колеса, особенно при торможениях с высоких скоростей, а также при длительных торможениях, что позволяет значительно увеличить пробег вагонов между обточками колесных пар. Другим преимуществом дисковых тормозов является то, что их тормозная рычажная передача отличается небольшой массой, простотой конструкции и обслуживания, высоким к. п. д., меньшими вибрациями по сравнению с рычажной передачей колодочного тормоза. Все это обуславливает использование дисковых тормозов на скоростном подвижном составе. По расположению различают осевые дисковые тормоза, если диски закреплены на осях, и колесные, если диски закреплены на колесных центрах или ступицах колес. На железных дорогах РФ дисковые тормоза применяются на дизель-поездах, пассажирских вагонах для скоростей движения свыше 160 км/ч, на части прицепных вагонов электропоездов ЭР22 и электропоезде ЭР200.

Тормоз тележки КВЗ-ЦНИИ (рисунок 2) для вагонов межобластного сообщения состоит из четырех клещевых механизмов, каждый из которых

имеет тормозной цилиндр 1, два спаренных рычага 2 с затяжкой 3 и фиксатором 4 и два башмака 6 с фрикционными накладками 5. На одной колесной паре размещают два тормозных диска 7 диаметром 620 мм с шириной поверхности трения 120 мм. Каждый диск состоит из двух половин, соединяемых болтами 9. К ступице, напрессованной на ось колесной пары, диск крепится радиально расположенными болтами 8 с разрезными втулками и тарельчатыми пружинами. Для лучшего отвода тепла диски снабжены ребрами и вентиляционными окнами. Башмаки с накладками подвешены к консоли поперечной балки тележки на шарнирных подвесках 11. Вертикальными валиками 10 башмаки шарнирно соединяются с рычагами 2, которые крепятся подвесками 12 к той же консоли, что и подвески башмака. На каждой тележке установлено четыре тормозных цилиндра 1 диаметром 8 дюймов. Каждый из цилиндров обслуживает одну пару тормозных башмаков 6. Тормозные накладки выполнены из композиционного материала [2].

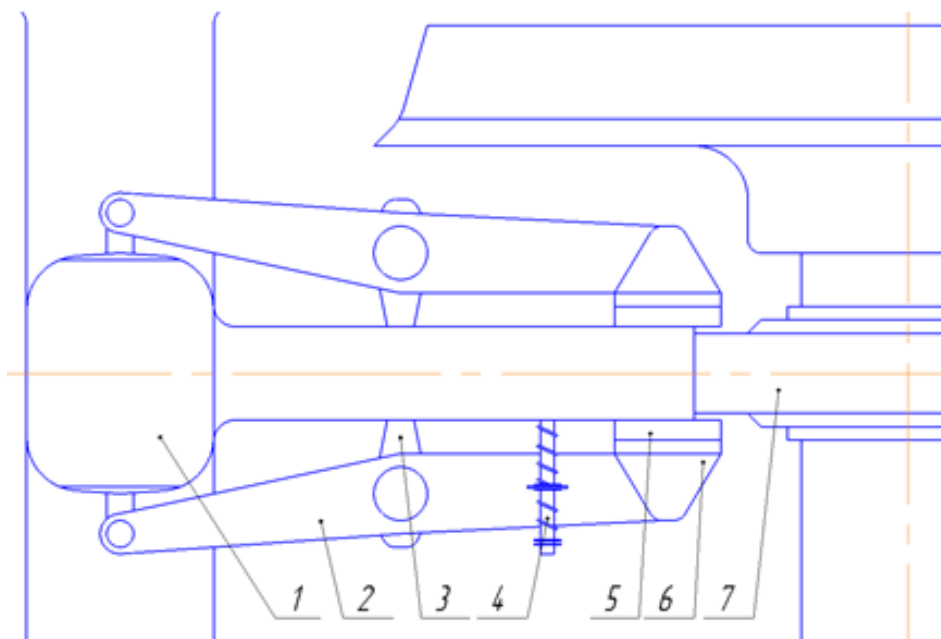


Рисунок 2 – Эскиз дискового тормоза:

1 – тормозной цилиндр, 2 – рычаг, 3 – затяжка, 4 – фиксатор, 5 – накладка, 6 – башмак,
7 – тормозной диск

Сравнительный анализ основных показателей эффективности дисковых и колодочных тормозов, в различных видах подвижного состава представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнительный анализ основных показателей эффективности дисковых и колодочных тормозов, в различных видах подвижного состава

Тип тормозов	Максимальная скорость (км/ч)	Длина торм. пути на площадке при макс. скорости движения (м)	Коэф. эффективности тормозов*
1. ПАССАЖИРСКИЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ (кроме моторвагонного)			
1.1. Пневматический с чугунными колодками	120-160	1000-1600	8,3-10,0
1.2. Электропневматический с композиционными колодками	160	1300	8,1
1.3. Пневматический с чугунными колодками совместно с магнитно-рельсовым	150	460	3,1
1.4. Электропневматический дисковый с композиционными колодками и магнитно-рельсовый	200	1600	8,0
2. ГРУЗОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ			
2.1. Пневматический с чугунными колодками	80	800	10,0
2.2. Пневматический с композиционными колодками	100	800	8,0
2.3. Электропневматический с композиционными колодками	100-120	750-1000	7,5-8,3
3. МОТОРВАГОННЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ			
3.1. Электропневматический с чугунными колодками	130	1000	7,7
3.2. Электропневматический с композиционными колодками	130	800	6,1
3.3. Электропневматический дисковый с композиционными накладками и магнитно-рельсовый	200	1500	7,5

Таким образом, после проведения анализа основных показателей эффективности колодочных и дисковых тормозов, было выявлено, что колодочный тормоз удовлетворяет требованиям эксплуатации, но дисковый

тормоз имеет сравнительно лучшие характеристики, однако существуют недостатки тормозных дисков (низкая надежность креплений дисков к ступицам, образование трещин на поверхностях трения фрикционных колец), нестабильность коэффициентов трения тормозных накладок при изменении метеорологических условий и другие недостатки.

Список литературы

1. Галай, Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Конструкция тормозного оборудования : учебное пособие / Э. И. Галай, Е. Э. Галай / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 315 с. – Текст : непосредственный.
2. Сравнительный анализ колодочных и дисковых тормозных систем железнодорожного подвижного состава / Д. Ю. Белан, М. С. Давыдов, Н. С. Прокопенко [и др.] // Молодежь и системная модернизация страны : сборник научных статей / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2016. – С. 175–178.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белан Дмитрий Юрьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.
Доцент кафедры «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 33-33-33.
E-mail: ostu@gmail.com.

Яковлев Антон Михайлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.
Студент кафедры «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 33-33-33.
E-mail: ostu@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Belan Dmitry Yurievich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046, the Russian Federation.
Associate professor of the department "Technologies of transport engineering and rolling stock repair" OSTU.
Phone: +7 (3812) 33-33-33.
E-mail: ostu@gmail.com.

Yakovlev Anton Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046, the Russian Federation.
Student of the department "Technologies of transport engineering and rolling stock repair" OSTU.
Phone: +7 (3812) 33-33-33.
E-mail: ostu@gmail.com.

В. П. Клюка, С. А. Мосол

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОРМОЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЛОКОМОТИВОВ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

В статье описано влияние конструктивных особенностей тормозного оборудования современных грузовых электровозов постоянного тока 2ЭС6 «Синара» и 2ЭС10 «Гранит» на эффективность перевозочного процесса.

Ключевые слова: полигон обращения, устаревшие серии электровозов, доля электровозов современных серий в парках депо, винтовые компрессоры, УКТОЛ, кран дистанционного управления тормозами № 130, краны вспомогательного тормоза локомотива №№ 215/224, клапанно-диафрагменная конструкция тормозных приборов, УЗОТ, тормозные цилиндры электровозов со встроенными авторегуляторами выходов штоков, эффективность перевозок.

Vladislav P. Klyuka, Sergey A. Mosol

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

TECHNICAL PROPERTIES OF THE BRAKING EQUIPMENT OF MODERN LOCOMOTIVES AS A MEANS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE TRANSPORTATION PROCESS

The article describes the influence of design features of the braking equipment of modern DC freight electric locomotives 2ES6 "Sinara" and 2ES10 "Granit" on the efficiency of the transportation process.

Keywords: landfill treatment, outdated series of electric locomotives, the share of electric locomotives of modern series in depot fleets, screw compressors, UKTOL, remote control brake crane No. 130, auxiliary brake cranes of locomotive No. 215/224, valve-diaphragm design of brake devices, uzot, brake cylinders of electric locomotives with built-in autoregulators of rod outputs, transportation efficiency.

Необходимость повышения эффективности перевозок на железных

дорогах Урало-Сибирского полигона в современных условиях диктуется в основном обеспечением экспортно-ориентированных грузопотоков кузбасских углей по направлениям Северо-Запад, Юг и Дальний Восток исправными локомотивами необходимой силы тяги (мощности) и исправными грузовыми вагонами в достаточном количестве. Замена за последние годы большей части грузового парка электровозов устаревших серий ВЛ10 (ВЛ10У), ВЛ11 на Западно-Сибирской, Южно-Уральской и Свердловской железных дорог современными электровозами 2ЭС6 «Синара» и 2ЭС10 «Гранит» позволила повысить массу и длину грузовых поездов на всех основных направлениях полигона. Так, например (рисунок 1), в депо Омск доля электровозов 2ЭС6 в инвентарном парке грузовых серий составляет почти 90%, в одном из наиболее крупных депо сети по парку Свердловск-Сортировочный суммарная доля электровозов 2ЭС6 и 2ЭС10 в инвентарном парке грузовых серий составляет почти 95%, а в депо Челябинск серия грузовых электровозов 2ЭС6 является единственной и составляет 100% инвентарного грузового парка.

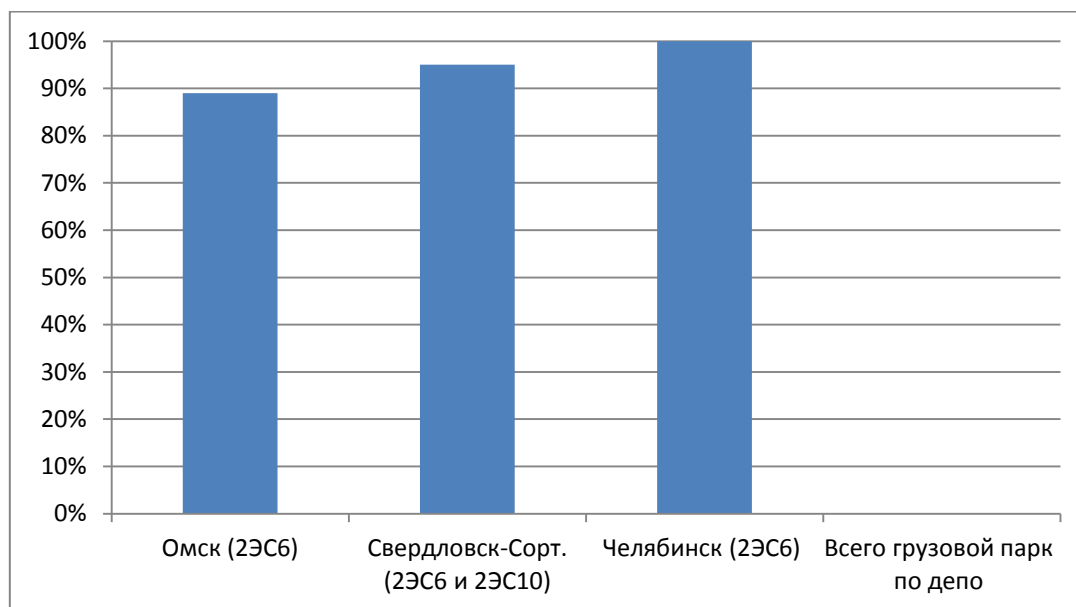


Рисунок 1 – Доля современных электровозов в парках депо Омск, Свердловск-Сортировочный и Челябинск

Следует учесть, что электровозы 2ЭС6 депо Челябинск и депо Златоуст, помимо Урало-Сибирского полигона, обращаются с грузовыми поездами также на направлении Урал - Центр через Самару и Пензу до станции Рыбное Московской железной дороги (в основном «квадратами» - по два электровоза в СМЕТ). При этом с контейнерными поездами они идут без отцепки до станции Вязьма Мск. ж.д.

Также (рисунок 2) значительную долю составляют современные электровозы 2ЭС6 и 2ЭС10 в парках депо Тайга (в сумме около 70% – остальные в основном ВЛ10К) и депо Белово (в сумме более 30% – остальные в основном ВЛ10У), электровозы 2ЭС6 в парках депо Курган (почти 55%) и депо Златоуст (около 35%):

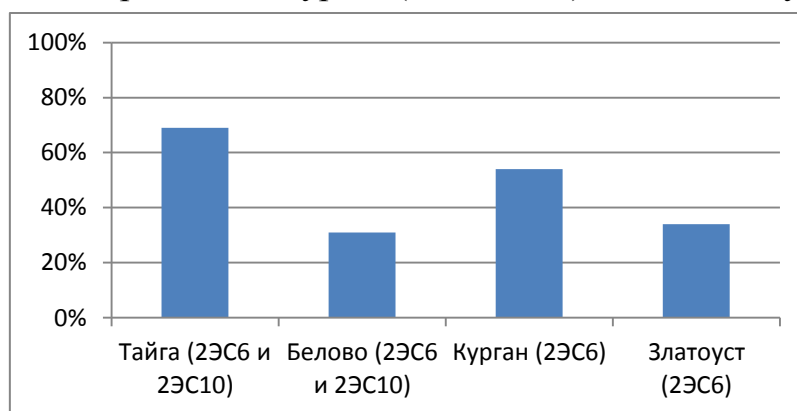


Рисунок 2 – Доля современных электровозов в парках депо Тайга, Белово, Курган и Златоуст

При этом практически завершена передача электровозов 2ЭС10 из депо Белово (где их осталось несколько единиц) в депо Тайга, что позволяет использовать их наиболее эффективно на главном ходу Транссиба со значительными грузопотоками.

Полная замена оставшихся грузовых электровозов устаревших серий в депо Урало-Сибирского полигона обращения современными локомотивами позволит полностью уйти от формирования груженых угольных грузовых поездов массой 6300 тонн и 7000 тонн под электровозы ВЛ10, ВЛ10У, ВЛ11 и формировать угольные маршруты единой унифицированной нормы массы 8000 тонн по направлениям Кузбасс-Челябинск, Кузбасс-Свердловск с тягой одиночными электровозами 2ЭС6 (9000 тонн с тягой электровозами 2ЭС10 и электровозами 2ЭС6 в трех секциях). Кроме того, полная замена парка электровозов устаревших серий ВЛ10К, ВЛ10У в депо Тайга и Белово на электровозы 2ЭС6 (и частично 2ЭС10) позволит формировать на углепогрузочных станциях Кузбасса угольные маршруты унифицированной нормы массы 7100 тонн назначением на Дальний Восток с пропуском их на Восточный полигон без «перелома» массы как по главному ходу Транссиба через Мариинск, так и через Междуреченск по Абаканскому ходу до Тайшета.

В немалой степени надежное вождение поездов электровозами новых серий 2ЭС6 и 2ЭС10 обеспечивается за счет использования в их конструкции

современного тормозного оборудования. К этому оборудованию можно отнести такие (ранее практически не применявшиеся в отечественном локомотивостроении) узлы, приборы и агрегаты, как винтовые компрессоры, унифицированный комплекс тормозного оборудования УКТОЛ, кран дистанционного управления тормозами № 130, кран вспомогательного тормоза локомотива №№ 215/224, тормозные цилиндры со встроенными авторегуляторами выходов штоков.

Так, например, применение винтовых (роторных) компрессоров разных типов и модификаций (рисунок 3) вместо морально и физически устаревших поршневых компрессоров типа КТ-6Эл в сочетании с устройствами очистки и осушки на тяговом подвижном составе (при вертикальном расположении главных резервуаров на торцевых стенках кузовов у электровозов 2ЭС6, 2ЭС10) позволило получать практически сухой и чистый сжатый воздух с минимальным содержанием водяных и масляных паров:



Рисунок 3 – Винтовые компрессорные агрегаты

В свою очередь использование винтовых компрессоров дает возможность безопасного формирования и уверенного вождения по надежности действия тормозов одиночной тягой локомотивов с головы грузовых груженных поездов повышенной массы - до 9500 тонн по условиям прочности автосцепки - и повышенной длины до 520 осей по условиям автоматичности действия тормозов со значительным снижением количества случаев обрыва автосцепных устройств и перемерзаний тормозной магистрали. А при использовании систем управления тормозами тяжеловесных поездов СУТП и распределенного управления тормозами поездов РУТП максимальная норма повышенной массы грузового поезда может достигать 12000 тонн и более (что показала успешная практика вождения таких грузовых поездов трехсекционными тепловозами

ЗТЭ10М на Приволжской железной дороге по направлению от Аксарайской до Волжского и опытная поездка с электровозом 2ЭС10 от Бабаево до Лужской).

Использование в конструкции современных электровозов 2ЭС6, 2ЭС10 унифицированного комплекса тормозного оборудования локомотивов УКТОЛ (рисунок 4), крана дистанционного управления тормозами № 130 и крана вспомогательного тормоза №№ 215/224 (рисунок 5), других тормозных приборов современной клапанно-диафрагменной конструкции (взамен морально и физически устаревших тормозных приборов золотниково-поршневой и клапанно-поршневой конструкций) дало возможность повысить эффективность работы этих локомотивов в грузовом движении.



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Расположение оборудования в шкафу УКТОЛ (сверху вниз поблочно):

- а) блок воздухораспределителя БВР; б) блок электропневматических приборов БЭПП (исполнительная часть крана дистанционного управления тормозами № 130);
- в) блок тормозного оборудования БТО.



Рисунок 5 – Контроллер ККМ крана дистанционного управления тормозами № 130 и кран вспомогательного тормоза № 215 на пульте кабины управления электровоза 2ЭС6

Современные тормозные приборы и оборудование, установленные на электровозах 2ЭС6 и 2ЭС10, позволили получить ряд преимуществ в работе тормозов локомотивов и вагонов в составах поездов:

- сосредоточить практически все тормозное оборудование компактно в шкафу УКТОЛ поперечного коридора секции электровоза, значительно сократив длину пневматических магистралей и их металлоемкость;

- практически убрать из кабины машиниста тормозные приборы с использованием сжатого воздуха (за исключением крана вспомогательного тормоза № 215 с незначительным расходом сжатого воздуха и клапанов аварийного экстренного торможения КАЭТ, используемых достаточно редко), что позволило значительно улучшить условия работы локомотивной бригады, существенно снизив шум, а также сократив загрязнение объема и стен кабины парами воды, масла;

- в сочетании с микропроцессорными системами управления и диагностики МПСУ и Д интегрировать работу тормозов локомотива с дополнительными приборами и системами безопасности (КЛУБ-У, САУТ, ТСКБМ, БЛОК, автоведение), в том числе использовать внутреннюю память МПСУ и Д для расследования случаев ненормальной работы тормозов в поездах и действий при этом локомотивных бригад;

- ускорить зарядку и отпуск тормозов поездов повышенной массы и длины в пути следования и на стоянках с использованием 1-го положения контроллера крана машиниста ККМ за счет увеличенных проходных сечений

питательного клапана и калиброванного отверстия в сообщении полости над диафрагмой трехкамерного реле давления с уравнительным резервуаром по сравнению с кранами машинистов №№ 394, 395 (с сохранением автоматичности действия тормозов в поездах при 2-м положении ККМ);

- за счет повышения надежности в целом работы тормозного оборудования значительно сократить объем его проверок локомотивными бригадами, особенно при их смене на станционных путях;

- за счет применения электропневматической блокировки тормозов УБТ и выключателя цепей управления ВЦУ упростить действия локомотивных бригад по смене кабин управления;

- за счет использования в конструкции УКТОЛ крана резервного управления тормозами поезда КРУ значительно сократить время задержек поездов на перегонах при выходах из строя крана дистанционного управления тормозами № 130 в пути следования.

Исходя из современных требований к диагностике тормозов при их опробовании на стоянках и в пути следования, стоит рассматривать УКТОЛ как аналог устройства зарядки и отпуска тормозов УЗОТ, используемых на ПТО вагонов, в миниатюре (для одного поезда). Тогда, при дооснащении УКТОЛ необходимыми датчиками и устройствами, а также дополнив программное обеспечение МПСУ и Д электровоза в необходимом объеме, будет возможно использовать УКТОЛ дополнительно для диагностики состояния тормозов поезда с полным набором необходимых функций (аналогично современным устройствам диагностики тормозов в составах вагонов УЗОТ-РМ и АСДТ-2К):

- продувка тормозной магистрали пониженным давлением;
- автоматическое измерение давления в тормозной магистрали хвостового вагона;
- автоматическая проверка целостности тормозной магистрали;
- автоматический контроль окончания процессов зарядки, отпуска и торможения;
- автоматическая оценка заужения тормозной магистрали;
- обнаружение замедленного отпуска тормозов у отдельных вагонов;
- автоматическая локализация вагонов с самопроизвольно срабатывающими тормозами;
- автоматическая локализация пробки в тормозной магистрали;
- автоматическое определение факта перекрытия концевых кранов тормозной магистрали в поезде.

Демонстрация указанных диагностических процессов тормозного оборудования поезда на мониторе МПСУ и Д электровоза машинисту на стоянке в ходе опробования тормозов и в пути следования позволит повысить качество подготовки вагонов к следованию в поездах (особенно на небольших ПТО и ПОТ вагонов, где отсутствуют стационарные устройства УЗОТ и АСДТ) и, тем самым, повысить эффективность перевозочного процесса и обеспечить безопасность движения.

Также необходимо отметить, что использование на электровозах 2ЭС6 и 2ЭС10 тормозных цилиндров со встроенными авторегуляторами выходов штоков (рисунок 6) значительно снизило трудоемкость технического обслуживания тормозной рычажной передачи за счет исключения её промежуточных ручных регулировок между ТО-2 (дополнительных операций по регулировке ТРП при этом между сменами тормозных колодок не требуется).



Рисунок 6 – Тормозной цилиндр со встроенным авторегулятором выхода штока (электровозы 2ЭС6 и 2ЭС10)

Применение тормозных цилиндров со встроенными авторегуляторами выхода штока полностью исключило значительный объем трудоемких операций по ручной регулировке тормозной рычажной передачи, выполняемых локомотивными бригадами в ходе ТО-1 при приемке - сдаче локомотивов. Указанное преимущество в сочетании с иными конструктивными особенностями электровозов 2ЭС6 и 2ЭС10 (применение независимого возбуждения ТЭД на первых и асинхронных ТЭД на вторых, значительно повысившее противобоксовочные свойства электровозов и существенно снизившее расход песка, применение ТЭД с моторно-осевыми подшипниками

качения, использование более совершенного электрооборудования - в частности, преобразователей собственных нужд ПСН - и асинхронных электродвигателей вспомогательных машин) позволили значительно сократить трудоемкость ТО-2 этих электровозов и в 2,5 раза увеличить периодичность его проведения (с 72 часов до 7,5 суток).

Данные обстоятельства значительно сократили количество отцепок электровозов вышеуказанных серий на станциях дислокации ПТОЛ для проведения ТО-2 и экипировки, что в свою очередь дало возможность:

- снизить время простоев поездов на участковых и сортировочных станциях за счет сокращения количества перецепок локомотивов под транзитными поездами (со снижением количества маневровых передвижений поездных локомотивов и уменьшением по этой причине времени занятия горловин станций);

- создать предпосылки для оптимизации объемов работы и количества работников ремонтного персонала ПТОЛ;

- сократить количество локомотивов в эксплуатируемом грузовом парке на предъявляемый объем перевозок;

- в целом существенно уменьшить локомотивную и вагонную составляющие в эксплуатационных расходах на перевозки.

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что имеется существенное влияние конструктивных особенностей тягового подвижного состава, в частности использование нового тормозного оборудования, на сокращение эксплуатационных расходов.

Таким образом, насыщение парка грузовых электровозов современными машинами, в частности 2ЭС6 и 2ЭС10, требует дальнейшего развития полигонных технологий с учетом возможности значительного увеличения сроков эксплуатации современных локомотивов между ТО-2 и экипировками, а также дальнейшего роста протяженности гарантийных участков безопасного следования грузовых вагонов на основных грузонапряженных направлениях сети, что будет способствовать повышению эффективности перевозочного процесса.

Список литературы

1. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми электродвигателями. Руководство по эксплуатации 2ЭС6.00.000.000 РЭ. – Верхняя Пышма: ООО «Уральские локомотивы», 2008. – 1202 с.

2. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с асинхронными тяговыми электродвигателями. Руководство по эксплуатации 2ЭС10.00.000.000 РЭ. – Верхняя Пышма: ООО «Уральские локомотивы», 2011. – 473 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Клюка Владислав Петрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,
Российская Федерация.
Доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС.
Тел.: 8-913-628-78-87.
E-mail: vklyuka@mail.ru.

Мосол Сергей Андреевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,
Российская Федерация.
Преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС.
Тел.: 8-913-613-08-01.
E-mail: bam1979-2005@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Klyuka Vladislav Petrovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644000,
the Russian Federation.
Docent at the Department of « Cars and wagon economy » OSTU.
Phone: 8-913-628-78-87.
E-mail: vklyuka@mail.ru.

Mosol Sergey Andreevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644000,
the Russian Federation.
Teacher at the Department of « Cars and wagon economy » OSTU.
Phone: 8-913-613-08-01.
E-mail: bam1979-2005@yandex.ru.

УДК 629.3.083.4

Е. Г. Петрухин, П. П. Астафьев

Курский железнодорожный техникум – филиал «Петербургский государственный университет путей сообщения имени Императора Александра I» в г.Курске,
г. Курск, Российская Федерация

ТРАДИЦИОННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В данной статье рассмотрены и произведены сравнения различных систем технического обслуживания и ремонта тягового подвижного состава на примере МВПС. Произведен анализ существующих (исторически–сложившихся систем планово-предупредительного ремонта) и перспективных систем обслуживания и ремонта на основании данных технической диагностики. В качестве примера рассмотрена система

«КОМПАКС®», которая является универсальной системой комплексного мониторинга технического состояния оборудования, обладающей гибкой распределенной параллельно-последовательной архитектурой, обеспечивающей высокую скорость и точность обработки информации. Основным преимуществом системы «КОМПАКС®» является наличие автоматической экспертной системы поддержки принятия решений. Экспертная система предназначена для автоматической диагностики и прогнозирования технического состояния оборудования. Задачей экспертной системы является оказание помощи персоналу в принятии необходимых обоснованных решений по управлению режимом работы и состоянием оборудования.

Ключевые слова: компакс®, экспертная система, диагностирование.

Evgeny G. Petrukhin, Pavel P. Astafiev

Kursk Railway Technical School – branch of the "St. Petersburg State University of Railway Engineering named after Emperor Alexander I" in Kursk,
Kursk, the Russian Federation

MAINTENANCE AND REPAIR OF TRACTION ROLLING STOCK

This article examines and compares various systems of maintenance and repair of traction rolling stock using the example of electric trains and diesel trains. The analysis of the existing (historically developed systems of scheduled preventive maintenance) and prospective maintenance and repair systems based on the data of technical diagnostics is carried out. The COMPACS® system is considered as an example. The COMPACS® system is a universal system for complex monitoring of the technical condition of equipment with a flexible distributed parallel-sequential architecture that provides high speed and accuracy of information processing. The main advantage of the COMPACS® system is the availability of an automatic expert decision support system. The expert system is designed for automatic diagnostics and forecasting of the technical condition of equipment. The task of the expert system is to assist personnel in making the necessary informed decisions on the management of the operating mode and the condition of the equipment.

Keywords: compacs®, expert system, diagnosis.

Локомотивное хозяйство - это один из важнейших элементов инфраструктуры железнодорожного транспорта. От организации его работы в значительной мере зависят как устойчивость работы дороги, так и себестоимость перевозок.

Невозможно повысить качество пригородных пассажирских перевозок, если не обеспечить высокую надежность и коэффициент эксплуатационной

готовности ТПС и МВПС. Традиционные методы решения этой задачи во второй половине XX века основывались на экстенсивных факторах развития, таких как, наличие значительных ресурсов дешёвой высококвалифицированной рабочей силы, и в наше время утратили свою актуальность. В противовес этому, увеличение интенсивности и качества перевозок выдвигает адекватные требования к уровню технического обслуживания и ремонта оборудования ТПС и МВПС при уменьшении сроков и эксплуатационных расходов.

Исходя из структурного анализа транспортных затрат внутри локомотивного хозяйства очевидно, что огромную часть себестоимости железнодорожных перевозок составляют затраты на техническое содержание подвижного состава и ремонт электровозов. Удельный вес этих затрат достигает 18-20 % от общей стоимости перевозок.

Суть принятой на сети дорог системы планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта состоит в том, что независимо от фактического состояния оборудования через заранее определённые промежутки времени проводится его частичная или полная разборка с целью профилактического осмотра, технического обслуживания или ремонта. Затраты на восстановление парка ТПС или МВСП за период от начала эксплуатации до постановки на ремонт КР в 3,5-4,0 раза превышают его первоначальную стоимость.

В связи с этим встал вопрос о качественно новом подходе к этой проблеме.

Во второй половине 90-х годов на сети железных дорог появилось множество различных приборов диагностики, не связанных в единую технологическую цепь, и, обладающих рядом существенных недостатков: субъективностью, высокой трудоемкостью и продолжительностью постановки диагноза, плохой наблюдаемости фактического состояния ТПС и МВПС.

В целях перехода на ремонт с учетом технического состояния, была создана комплексная система технического обслуживания и ремонта подвижного состава с упорядоченным применением средств диагностики и вычислительной техники для обеспечения высокого уровня надежности и экономичности, сокращения расходов при техническом обслуживании и ремонте на основе предотвращения отказов в пути следования и рационального использования ресурса оборудования подвижного состава.

Благодаря развитию информационных технологий, средств контроля и

диагностики, вычислительной техники, автоматизированных систем неразрушающего контроля были созданы информационно-технические комплексы по управлению системой ремонта и осуществлен переход к организации ремонта с учетом технического состояния оборудования.

Создание информационно-измерительных систем контроля и диагностики способствует автоматизации технологии и организации технического обслуживания и текущего ремонта электровозов. Основной задачей является создание комплексной системы ремонта с научно обоснованным регламентным воздействием на оборудование, учитывающим реальное техническое состояние узлов и агрегатов электровоза. Для получения текущей информации о техническом состоянии электровоза необходимо использовать средства и методы технического диагностирования с целью организации непрерывного автоматического мониторинга основных узлов и систем МВПС и ТПС.

Комплексная система основана на оперативном определении объемов проведения технического обслуживания и ремонта для каждой единицы подвижного состава в отдельности - с учетом его индивидуального технического состояния, в отличие от традиционной планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта.

В связи с объединением в локальную сеть участков диагностики депо и ПТОЛ, стало возможным осуществлять быстрый обмен данными контролируемых параметров, прогнозировать износ и планировать постановку ТПС и МВПС на ремонт.

Система КОМПАКС® является универсальной системой комплексного мониторинга технического состояния оборудования [7].

Наличие автоматической экспертной системы поддержки принятия решений является ее основным преимуществом [7].

Задача экспертной системы заключается в помощи персоналу по принятию целесообразных обоснованных решений для управления режимами работы и состоянием оборудования. Без участия специально обученного персонала в автоматическом режиме экспертная система сама определяет дефекты и неисправности оборудования и указывает перечень работ, после выполнения которых, оборудование перейдет в допустимое для дальнейшей эксплуатации состояние [7].

Реализация в ПО КОМПАКС® Internet-технологий предоставляет

возможность для организации встроенного WEB-сервера, информация о состоянии диагностируемых узлов и агрегатов МВПС отображается на экранах рабочих станций персонала без дополнительного настраивания пользовательского программного обеспечения.

Система диагностирования КОМПАКС® включает в себя 5 систем диагностирования (рисунок 1), объединенных в единый диагностический комплекс посредством локальной сети КОМПАКС®-Net и называется АСУ БЭР МВПС КОМПАКС. В состав входят: бортовая система мониторинга технического состояния оборудования электропоезда в пути следования КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-3; система комплексной диагностики электропоездов КРМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТР1; система комплексной диагностики секций электропоездов КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТР3; стационарный пост вибродиагностики колёсно-моторных блоков; система диагностики узлов и агрегатов мотор-вагонного подвижного состава КОМПАКС®-АГРЕГАТ [7].

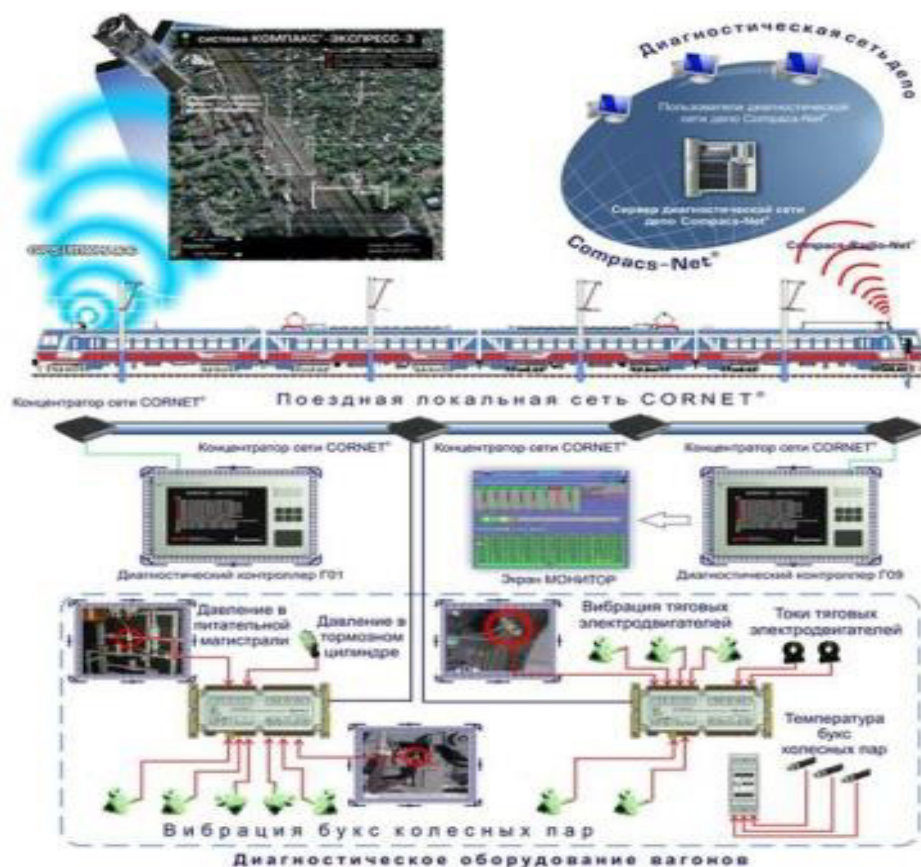


Рисунок 1. – Структурная схема АСУ БЭР МВПС КОМПАКС®

Система КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-3 предназначена для мониторинга технического состояния оборудования электропоезда в режиме реального

времени и позволяет своевременно выявить возникновение и развитие неисправностей, отображая информацию на дисплее в кабине машиниста.

Бортовая система мониторинга получает полную информацию о состоянии подшипниковых узлов, пневматической тормозной системы и электрических цепей электропоезда в процессе движения, следит за уровнем и развитием дефектов, формирует рекомендации локомотивным ремонтным бригадам о необходимых мероприятиях по обслуживанию и ревизии; формирует, архивирует акты технического состояния для каждого вагона и электропоезда в целом, показывает их на дисплее диагностического контроллера, расположенного в кабине машиниста, а также передает их в диагностическую сеть Comracs-Net персоналу, ответственному за диагностику, руководству депо и заинтересованным службам [7].

Система комплексной диагностики электропоездов КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТР1 предназначена для незамедлительной оценки технического состояния мотор-вагонного подвижного состава при проведении технического обслуживания ТО-3 и текущего ремонта ТР-1 в депо без необходимости расцепления вагонов.

Система обеспечивает оперативное выявление основных неисправностей и диагностику технического состояния следующего оборудования: колесно-моторных блоков (буксы, редуктор, упругая муфта, тяговый двигатель); электрической изоляции силовых и вспомогательных цепей; токоприемника; пневматической тормозной системы; цепей управления; силовых электрических цепей; цепей отопления и вспомогательных машин.

По результатам каждого испытания автоматически формируются акты технической готовности соответствующего оборудования. По завершению полного цикла испытаний автоматически формируются акты технической готовности секций и электропоезда в целом [7].

Система комплексной диагностики секций электропоездов КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТР3 предназначена для комплексной автоматической оценки технического состояния наиболее сложного и в наибольшей степени подверженного эксплуатационному износу и отказам оборудования секций электропоездов.

Система включает 7 подсистем диагностики, взаимодействующих между собой в комплексе: КМБ - подсистема диагностики колёсно-моторных блоков; ПДИ - подсистема диагностики изоляции силовых и вспомогательных электрических цепей; ПДП - подсистема диагностики токоприемников; ПДТ - подсистема диагностики оборудования пневматической тормозной системы;

ПДЭЦУ - подсистема диагностики электрических цепей управления; ПДЭЦС - подсистема диагностики силовых электрических цепей; ПДЭЦВ - подсистема диагностики высоковольтных вспомогательных электрических цепей.

Структура и состав системы совместно с принятой схемой расположения позволяют едиными программно-аппаратными средствами проводить режим «МОНИТОР» ПО подсистемы диагностики изоляции комплексную диагностику секций электропоездов 15 различных серий постоянного и переменного тока. [7].

Система КОМПАКС®-Агрегат предназначена для оперативной оценки технического состояния и качества текущих ремонтов ТР-2 и ТР-3 колесно-редукторных блоков, колесных пар, токоприемников, тяговых электродвигателей, компрессоров и электромашинных преобразователей с контролем качества их изоляции.

Система диагностирования АСУ БЭР МВПС КОМПАКС® обеспечивает высокий экономический и социальный эффект, является мощным инструментом повышения безопасности и бесперебойности работы железнодорожного транспорта, создает предпосылки для ускоренного переустройства системы существующей системы ремонта и является ведущей платформой для перехода к новой системе ремонта на безопасной ресурсосберегающей основе.

Список литературы

1. Системы компакс : автоматическая вибродиагностика и комплексный мониторинг состояния оборудования // НПЦ «Динамика : сайт. – URL: <http://www.dynamics.ru> (дата обращения 01.11.2020). – Текст: электронный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петрухин Евгений Геннадьевич

Курский железнодорожный техникум – филиал «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» в г. Курск.

Профсоюзная ул., д. 11, г. Курск, 305009, Курская область, Российская Федерация.

Студент группы 413 отделения 23.02.06 «Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог».

Тел.: +7 (919) 135-47-93.

E-mail: petruxin080@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Petrukhin Evgeny Gennadievich

Kursk Railway Technical School – branch of the "St. Petersburg State University of Railway Engineering named after Emperor Alexander I" in Kursk.

11, Profsoyuznaya st., Kursk, 305009, Kursk region, the Russian Federation.

Student of group 413 department 23.02.06

"Technical rolling stock operation railways "

Phone: +7 (919) 135-47-93.

E-mail: petruxin080@gmail.com.

Астафьев Павел Павлович

Курский железнодорожный техникум – филиал «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» в г. Курск.

Профсоюзная ул., д. 11, г. Курск, 305009, Курская область, Российская Федерация
Студент группы 412 отделения 23.02.06 «Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог».

Тел.: +7 (919) 131-79-35.

E-mail: pal_pal@mail.com.

Astafiev Pavel Pavlovich

Petrukhin Evgeny Gennadievich
Kursk Railway Technical School – branch of the "St. Petersburg State University of Railway Engineering named after Emperor Alexander I" in Kursk.

11, Profsoyuznaya st., Kursk, 305009, Kursk region, the Russian Federation.

Student of group 412 department 23.02.06

"Technical rolling stock operation railways".

Phone: +7 (919) 131-79-35.

E-mail: pal_pal@mail.com.

УДК 629.42:621.54

Ю. И. Матяш, Е. М. Кирпиченко

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

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА НА СОВРЕМЕННЫХ ЛОКОМОТИВАХ С ВИНТОВЫМИ КОМПРЕССОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ

В статье описана конструкция компрессорной установки современных грузовых электровозов постоянного тока 2ЭС6 «Синара» и особенности подготовки сжатого воздуха для тормозного оборудования.

Ключевые слова: винтовой компрессор. блок осушки, конденсат.

Jury I. Matyash, Evgeniy M. Kirpichenko

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

FEATURES OF COMPRESSED AIR TREATMENT ON MODERN LOCOMOTIVES WITH SCREW COMPRESSOR UNITS

The paper describes the design of compressor unit of modern cargo electric locomotives of direct current 2ES6 "Sinara" and features of compressed air preparation for braking equipment.

Keywords: screw compressor. drying unit, condensate.

Локомотивы нового поколения, такие как 2ЭС6 «Синара» и 2ЭС10 «Гранит» (рисунок 1) оснащаются винтовыми компрессорными установками, которые имеют малый расход смазки ($1...3 \text{ мг/м}^3$ воздуха), систему осушки и невысокую температуру на выходе из компрессора, что позволяет говорить о том, что воздух после винтового компрессора чище, чем после поршневого. Кроме этого винтовые компрессора имеют возможность практически круглосуточного непрерывного режима работы, за счет чего имеется возможность уменьшить объем и количество главных резервуаров.

На локомотиве устанавливаются компрессоры типа ДЭН-30МО или ВВ-3,5/10, работа которых происходит следующим образом (рисунок 2): после включения двигателя происходит автоматическое открытие электромагнитного клапана ЭПК1, через который воздух, из ресивера компрессорной установки, поступает к дроссельному клапану ДР, открывая его (все пуски установки происходят за счет использования воздуха из ресивера). Воздух из атмосферы через воздушный фильтр компрессора ФВ и клапан ДР поступает непосредственно в винтовой блок КМ, где происходит его сжатие.

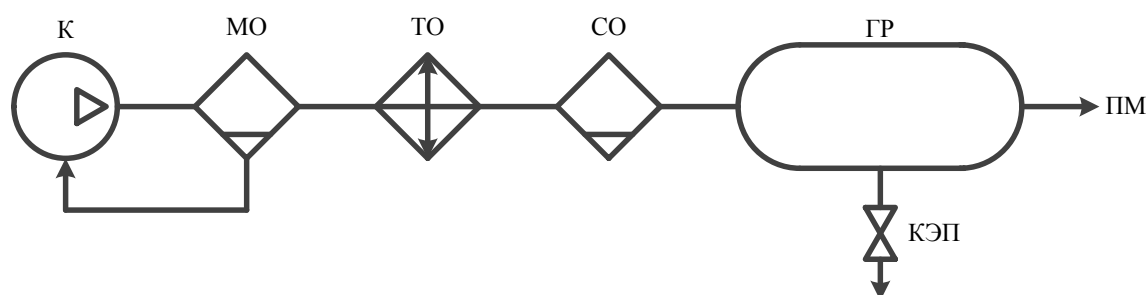


Рисунок 1 – Схема тормозного оборудования локомотивов 2ЭС6 «Синара» и 2ЭС10 «Гранит»

При сжатии в компрессоре происходит смешивание потока воздуха с маслом. Мясляно-воздушная смесь из компрессора поступает в маслоотделитель МО, где происходит очистка воздуха от паров масла. Отделение масла проходит в два этапа: сначала инерционная очистка в блоке С1, а затем тонкая очистка через сепаратор С2. После отделения масла происходит его очистка через масляный фильтр ФМ и возврат в компрессор. При очистке мясляно-воздушной смеси давление в маслоотделителе будет повышаться и при достижении давления в $0,35 \text{ МПа}$ откроется клапан минимального давления КМД, через который сжатый воздух поступит в концевой теплообменник и далее, в зависимости от положения разобобщительных

кранов, через блок осушки БО или в его обход по байпасной линии поступит в питательную магистраль электровоза.

После достижения давления 0,9 МПа происходит отключение двигателя компрессорной установки, сжатый воздух из винтового блока через дроссельный клапан ДР выпускается в атмосферу, происходит разгрузка винтового блока, после чего закрывается запорный клапан и расход воздуха через компрессор прекращается.

При всасывании воздуха в компрессорную установку происходит его очистка от пыли системой фильтрации ФВ, встроенной в установку. Нагнетаемый компрессорной установкой сжатый воздух охлаждается, а затем осушается с помощью входящего в состав установки адсорбционного осушителя. На первом электровозе подключение адсорбционных осушителей производится переключением соответствующих кранов на трубопроводе компрессора, а на втором электровозе подключение осушителей происходит автоматически при включении электромагнитных клапанов. Благодаря системе охлаждения выходе из компрессорной установки температура сжатого воздуха всего на 15°С будет превышать температуру окружающей среды на всасывании.

Несмотря на наличие блока осушки конденсат все равно будет поступать в тормозную магистраль локомотива. Это объясняется тем, что воздух из окружающей среды вначале поступает в грузовое помещение локомотива, где размещается необходимое технологическое оборудование (тяговые двигатели, модуль компрессорного агрегата, вспомогательный компрессор и др.) в результате температура воздуха в грузовом помещении локомотива в летний период года примерно на 10°С выше температуры воздуха окружающей среды. Кроме этого, в процессе сжатия температура воздуха на выходе из компрессорной установки возрастает на 15-20°С по сравнению с температурой его всасывания, поэтому уже при температуре наружного воздуха окружающей среды примерно плюс 20°С, температура воздуха в грузовом помещении локомотива повысится до плюс 30°С, а на выходе из компрессора она достигает значения плюс 50°С. Известно, что адсорбционная емкость силикагелей при данной температуре уже близка к нулю. В связи с этим адсорбционная система осушки потока сжатого воздуха может обеспечивать требуемую степень осушки потока сжатого воздуха в ограниченном диапазоне температур воздуха окружающей среды (только при температуре плюс 20°С и ниже). Также для обеспечения работы установки, требуется периодическое техническое обслуживание элементов адсорбционной установки (замена входных-

выходных фильтров тонкой очистки воздуха, регулировка переключающих клапанов, замена адсорбента в адсорберах и др.)

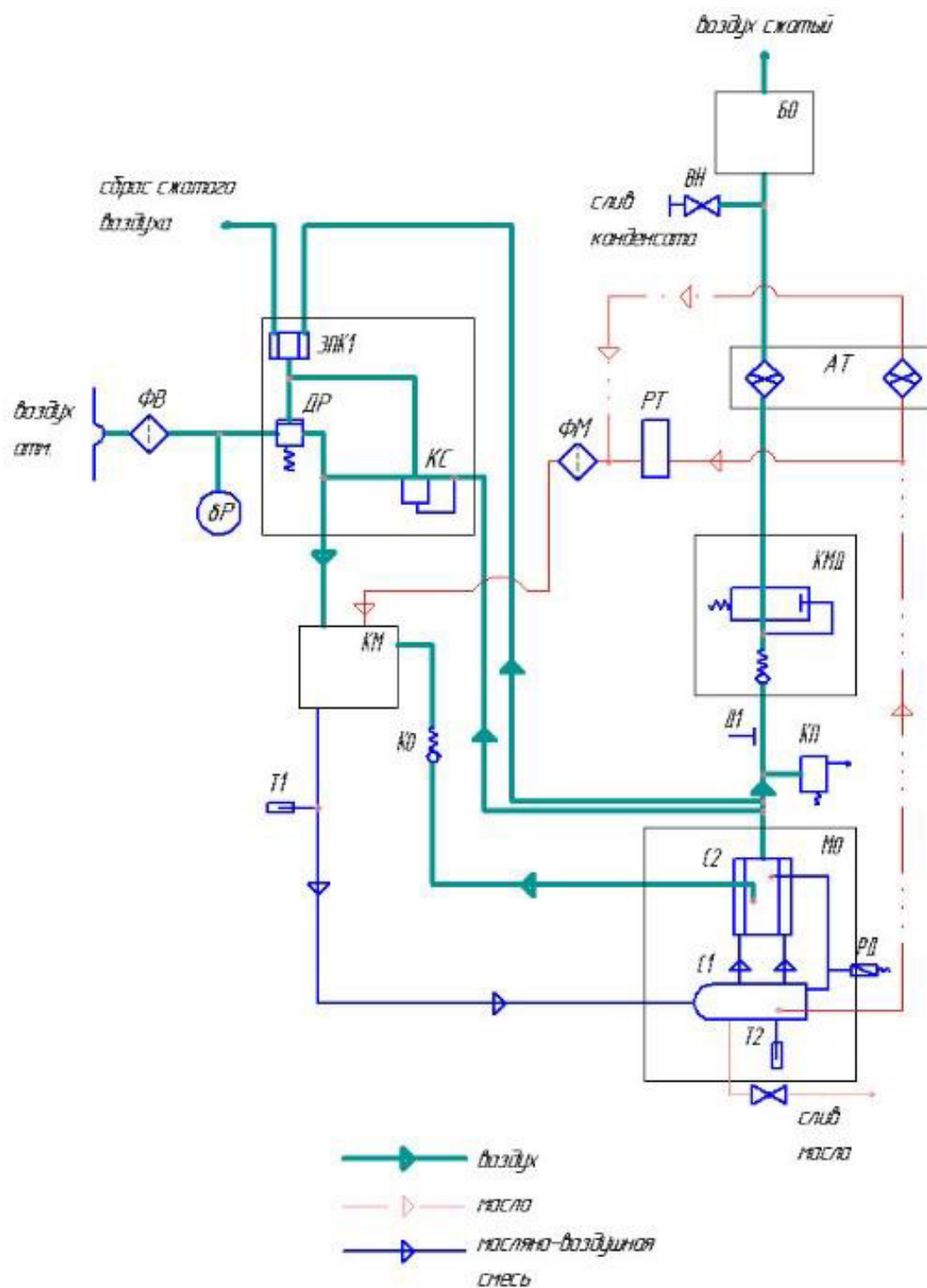


Рисунок 2 – Схема работы компрессорной установки локомотива 2ЭС6 «Синара»

Поэтому изначально производителем закладывается следующее техническое решение: для лучшего охлаждения и удаления влаги из сжатого воздуха главные резервуары соединяются между собой последовательно, а выпадающий в главных резервуарах конденсат должен удаляться в атмосферу

включением клапанов продувки, управление которыми осуществляется, как автоматически при каждом включении компрессорной установки, так и в ручном режиме из кабины машиниста.

Также следует отметить что гранулы адсорбента при работе системы осушки в процессе работы постепенно разрушаются, что приводит к образованию мелкодисперсной пыли, которая не улавливается пылесборниками. Поэтому в летний период года наряду с возникновением двухфазного режима течения по тормозным коммуникациям грузового подвижного состава очень часто происходит изменение размеров проходных отверстий рабочих элементов воздухораспределителя за счет засорения суспензией (смеси водомасляной эмульсии и пыли).

В зимний и переходный периоды года летние причины нарушения работоспособности тормозного оборудования грузового подвижного состава дополняются образованием твердой фазы (ледяных пробок) в тех местах, где происходит изменение режима течения воздушного потока, в расширяющихся элементах или при изменении направления его движения.

Исходя из опытной эксплуатации локомотивов одними из возможных мест перемерзания являются предохранительные клапаны на одной из секций, влагомаслоотделитель под кузовом электровоза, а также кран КН8 (рисунок 3), что отражено в рекомендациях локомотивной бригаде по обнаружению и устранению неисправностей в пути следования на электровозах 2ЭС6.



Рисунок 3 – Влагомаслоотделитель и кран КН8

Таким образом, системы подготовки сжатого воздуха современных локомотивов требуют дальнейшего усовершенствования с учетом увеличения сроков эксплуатации между ТО-2 и экипировками и увеличения протяженности гарантийных участков безопасного проследования грузовых поездов.

Список литературы

1. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми электродвигателями. Руководство по эксплуатации 2ЭС6.00.000.000 РЭ. – Верхняя Пышма: ООО «Уральские локомотивы», 2008. – 1202 с.
2. Электровоз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с асинхронными тяговыми электродвигателями. Руководство по эксплуатации 2ЭС10.00.000.000 РЭ. – Верхняя Пышма: ООО «Уральские локомотивы», 2011. – 473 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Матяш Юрий Иванович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,

Российская Федерация.

Доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС.

ОмГУПС.

Тел: +7-906-918-56-17.

E-mail: vvvh@omgups.ru

Кирпиченко Евгений Михайлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,

Российская Федерация.

Преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС.

Тел: +7-950-334-53-67.

E-mail: eugene_1976@bk.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Matyash Jury Ivanovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m, Omsk, 644000,

the Russian Federation.

Doctor of Technical Sciences, the professor of the departament «Railway cars and car enterprise» OSTU.

Phone: +7-906-918-56-17.

E-mail: matiash41@mail.ru.

Kirpichenko Evgeniy Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m, Omsk, 644000,

the Russian Federation.

Senior lecturer of the department «Railway cars and car enterprise» OSTU.

Phone: +7-950-334-53-67.

E-mail eugene_1976@bk.ru.

К. С. Петров, Е. В. Кондратенко, В. В. Петров

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

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ИНДУКЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ГРЕБНЕЙ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ФОРМЫ ИХ ПРОФИЛЯ

В статье проведен один из вариантов реализации информационной системы для диагностирования технического состояния гребней колес в процессе движения железнодорожного состава по прямолинейному рельсовому пути. Предложена эквивалентная модель профиля гребня колеса прямоугольной формы для оценки его толщины и смещения относительно головки рельса на основе применения мехатронной системы, которая состоит из комплекта индукционных датчиков, микропроцессорного контроллера, реализующего современные цифровые технологии для вычисления и оценки указанных параметров колесных пар.

Ключевые слова: индукционный датчик, микропроцессорный контроллер, цифровые технологии, математическая модель, мехатроника, автоматизация, диагностирование, гребень колеса, подвижной состав.

Konstantin S. Petrov, Evgeny V. Kondratenko, Vladimir V. Petrov

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

APPLICATION OF INDUCTION SENSORS TO ASSESS THE PARAMETERS OF ROLLING WHEEL RIDGES BASED ON A MODEL OF THE RECTANGULAR EQUIVALENT SHAPE OF THEIR PROFILE

The article carried out one of the options for the implementation of the information system to diagnose the technical condition of the ridges of wheels in the process of moving the railway train on a straight rail track. An equivalent model of the rectangular wheel crest profile is proposed to assess its thickness and displacement relative to the rail head, based on the use of a mechatronic system, which consists of a set of induction sensors, a microprocessor controller implementing modern digital technologies to calculate and evaluate these parameters of wheel pairs.

Keywords: induction sensor, microprocessor controller, digital technology, mathematical model, mechatronics, automation, diagnostics, wheel crest, rolling stock.

Рассматриваемая мехатронная система относится к автоматизированным системам контроля состояния колесных пар подвижного состава железнодорожного транспорта, в частности для контроля технического состояния гребней колес подвижного состава в процессе прохождения колесных пар над системой индукционных датчиков, расположенных вдоль прямолинейного участка рельсового пути.

Повышение надежности работы автоматизированных систем для диагностирования технического состояния подвижного состава в процессе движения по прямолинейному рельсовому пути основано на применении комплекта индукционных датчиков, которые обеспечивают идентификацию моментов прохождения гребней колес над ними, математического моделирования и цифровых технологий [1]. Цель данной статьи заключается в анализе функциональных зависимостей совокупности выходных сигналов индукционных датчиков и параметров гребней колес (толщина и смещение гребня относительно головки рельса) для автоматического диагностирования состояния колесных пар и передачи результатов на ближайший пункт технического осмотра.

На железнодорожном транспорте имеются разработки диагностических систем для контроля технического состояния колесных пар подвижного состава, например, на основе лазерных измерительных устройств [2]. Принцип работы таких систем заключается в бесконтактном измерении размеров колес в трехмерных координатах. Однако лазерные технологии, используемые в этой системе, не могут гарантировать получение надежных результатов измерений в жестких погодных условиях и вибрационных воздействиях на измерительную систему в процессе прохождения железнодорожных составов. Например, система контроля колесных пар железнодорожных вагонов [3] требует наличие высококвалифицированного штата сотрудников для регулярного обслуживания таких сложных систем, что особенно проблематично в ненастных погодных условиях. Поэтому для обеспечения работоспособности всей системы требуются большие материальные и финансовые затраты.

Известно устройство [4], содержащее датчики для определения угла перекоса колесных пар тележек грузовых вагонов. При прохождении гребня колеса над корпусом датчика изменяется значение взаимоиндукции катушек, что фиксируется в блоке обработки сигналов, к которому подключены датчики.

Блок обработки сигналов вычисляет и сохраняет в оперативной памяти

значение угла перекоса для каждой колесной пары, прошедшей над датчиками. Кроме того, по сигналам датчиков блок обработки сигналов определяет расстояние между соседними колесными парами, и по специальному алгоритму на основе известных расстояний между соседними колесными парами выполняет распознавание типов подвижных единиц в движущемся составе. На терминальное устройство по линии связи передаются порядковые номера подвижных единиц в поезде и номера их колесных пар, для которых зафиксировано превышение порогового значения угла перекоса колесной пары.

Возникновение перекоса колесных пар в составе тележки относительно прямолинейного рельсового пути – это уже крайняя (критическая) стадия процесса износа деталей тележки подвижного состава, что не позволяет прогнозировать и тем более предупреждать их неисправности. Этот недостаток не позволяет обеспечить существенное повышение безопасности движения.

Предлагаемая система [5] содержит пять индуктивных датчиков (Д1, Д2, Д3, Д4 и Д5), закрепленных при помощи кронштейна за подошву рельса, упрощенная схема размещения которых на прямолинейном участке рельсового пути представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема размещения датчиков на железнодорожном пути

Техническим результатом, на достижение которого направлена разработка предлагаемой системы, является расширение функциональных возможностей системы, повышение точности и надежности идентификации технического состояния тележек в составе движущегося поезда. Система позволяет прогнозировать возможные неисправности тележек подвижного состава, т.е. заранее формирует информационную базу данных о необходимости более детального исследования для ремонта или изъятия из эксплуатации подозрительных тележек, что обеспечивает повышение безопасности движения на железнодорожном транспорте.

Описываемая мехатронная система содержит:

1. Напольное оборудование, в составе которого имеются датчики Д1 – Д5, датчик Д1 расположен на определенном расстоянии от остальных со стороны подхода поезда, а Д2, Д3 и Д4, Д5 расположены рядом и попарно в плоскости перпендикулярной оси прямолинейного рельсового пути. Для вычисления результатов используют как амплитуды, так и фазы сигналов датчиков.

2. Микропроцессорный контроллер (МПК) с каналом связи предназначен для вычисления значений перекоса, толщины и смещения гребней колесных пар, подсчета числа осей, распознавания типов и количества подвижных единиц в составе и передачи этой информации в центр сбора данных.

Упрощенная схема, поясняющая принцип формирования сигналов переменного тока $\sim u_2$ и $\sim u_3$ на выходах соответствующих датчиков Д2 и Д3, расположенных со смещением ΔL относительно друг друга, показана на рисунке 2.

На рисунке 2 изображены следующие элементы системы: 1 – гребень колеса; 2 – индуктивный датчик Д2; 3 – индуктивный датчик Д3; 4 – эквивалентная модель гребня колеса прямоугольной формы; 5 – головка рельса; $\sim u_{\text{п}}$ – переменное напряжение питания индуктивных датчиков; h – толщина гребня; ΔL – смещение центральной линии гребня относительно оси симметрии между сердечниками датчиков, которое находится на расстоянии L_0 от головки рельса.

Предлагаемая система работает следующим образом.

Датчик Д1 расположен на определенном расстоянии от датчиков Д2 и Д4 со стороны подхода поезда, на основе импульсных сигналов, поступающих от этих датчиков, вычисляются скорость движения и значения перекоса осей колесных пар, номер колесной пары и межосевые расстояния, идентифицируется тип и номер подвижной единицы в составе поезда.

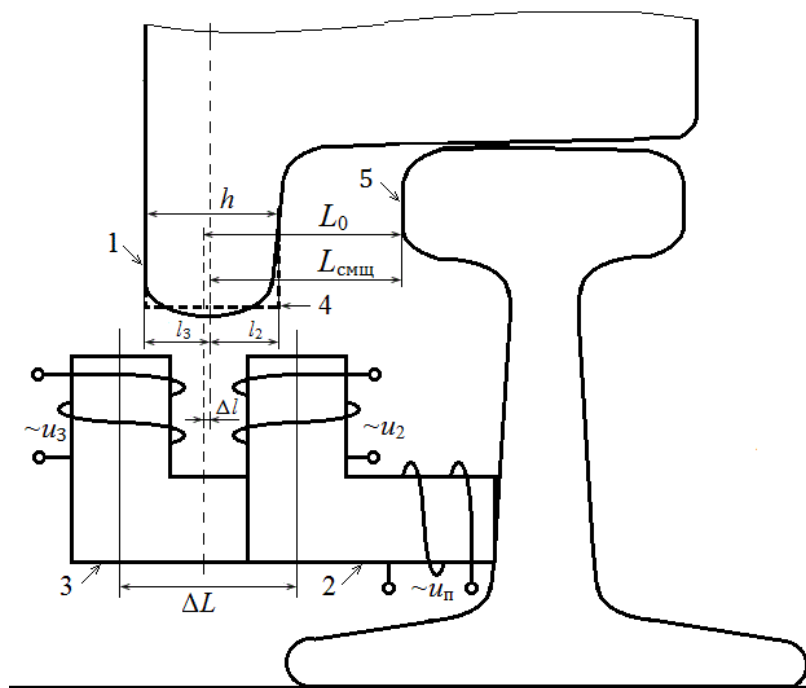


Рисунок 2 – Принцип формирования сигналов переменного тока $\sim u_2$ и $\sim u_3$ на выходах датчиков Д2 и Д3

Дополнительные датчики Д3 и Д5 расположены рядом с датчиками Д2 и Д4 с определенным смещением ΔL (см. рисунок 2), поэтому они формируют импульсные сигналы, отличающиеся от сигналов датчиков Д2 и Д4 при прохождении над ними гребней колесных пар

$$u_2 = k_2 * l_2 \text{ и } u_3 = k_3 * l_3, \quad (1)$$

где k_2 и k_3 – линеаризованные коэффициенты передачи индуктивных датчиков.

Учитывая, что толщина гребня колеса

$$h = l_2 + l_3, \quad (2)$$

то этот параметр можно вычислить по формуле

$$h = \frac{u_2}{k_2} + \frac{u_3}{k_3}. \quad (3)$$

Смещение центральной линии гребня относительно оси симметрии сердечников датчиков

$$\Delta l = l_2 - l_3, \quad (4)$$

тогда этот параметр можно вычислить по формуле

$$\Delta l = \frac{u_2}{k_2} - \frac{u_3}{k_3}, \quad (5)$$

и окончательно с учетом знака разности Δl

$$L_{\text{смщ}} = L_0 + \Delta l. \quad (6)$$

Таким образом, ширина гребня зависит от суммы сигналов u_2 и u_3 , а смещение – от их разности.

Микропроцессорный контроллер осуществляет прием сигналов от всех датчиков, после цифровой обработки амплитуд и фаз которых осуществляется вычисление значений толщины и смещения гребней колесной пары относительно прямолинейного рельсового пути. Таким образом, система измеряет не только перекося колесных пар подвижного состава, но и толщину и смещение гребней, что повышает достоверность идентификации и прогнозирования технического состояния тележек подвижного состава.

По результатам проведенного исследования можно сделать выводы:

1. Предлагаемая мехатронная система позволяет повысить достоверность интегральной оценки технического состояния тележек в системах автоматического диагностирования подвижного состава железнодорожного транспорта.

2. Для работы системы требуются минимальные затраты на установку и техническое обслуживание, что гарантирует ее работоспособность в любых погодных условиях и высокую надежность.

3. Применение линеаризованных коэффициентов вполне оправдано для решения данной задачи, так как на заключительном этапе диагностирования применяется принцип допускового контроля.

Список литературы

1. Петров, В. В. Математическая модель для оценки влияния отклонений конструктивных параметров вагонной тележки от номинальных значений на ее кинематические свойства – Текст : непосредственный / В. В. Петров, К. С. Петров // Известия Транссиба. – Омск. – 2019. – № 2 (38). – С. 55–65.

2. Патент № 2 270 120 С1 Российская Федерация, МПК В61К 9/12 (2006.01). Устройство диагностического контроля геометрических параметров колесных пар подвижного состава: № 2004125216/11 : заявлено 17.08.2004 : опубликовано 20.02.2006 / Коробейников Ю. Г., Федоров А. В., Фомин Ю. М. [и др.] ; патентообладатель Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН. – 5 с. : ил. – Текст : непосредственный.

3. Шибеко, Р. В. Система контроля колесных пар железнодорожных вагонов / Р. В. Шибеко, Е. А. Захаров. – Текст : электронный // Молодой ученый. – 2014. – №18. – С. 314–317. – URL: <https://moluch.ru/archive/77/13293/> (дата обращения: 25.10.2020).

4. Патент № 2 323 844 С1 Российская Федерация, МПК В61К 9/00 (2006.01). Устройство для определения угла перекося колесных пар тележек грузовых вагонов : № 2006123841/11 : заявлено 03.07.2006 : опубликовано 10.05.2008 / Акмалов С. Б.,

Моисеев Ю. В., Свердлов В. Б. [и др.] ; патентообладатель Государственное унитарное предприятие «Уральское отделение Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта Министерства путей сообщения Российской Федерации». – 5 с. : ил. – Текст : непосредственный.

5. Патент № 193429, U1 Российская Федерация МПК В61К 9/12, (2006.01), G01М17/10 (2006.01). Устройство для определения положения колесных пар подвижного состава относительно прямолинейного рельсового пути : № 2019118943 : заявлено 17.06.2019 : опубликовано 29.10.2019 / Кондратенко Е. В., Петров В. В., Петров К. С. ; патентообладатель Омский государственный университет путей сообщения. – 6 с. : ил. – Текст : непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Константин Сергеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,

Российская Федерация.

Студент ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-05-89.

E-mail: iatit@omgups.ru.

Кондратенко Евгений Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-06-72.

KondratenkoEV@omgups.ru.

Петров Владимир Владимирович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Автоматика и системы управления» ОмГУПС.

Тел.: (3812) 31-05-89.

E-mail: PerovVV@omgups.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Petrov Konstantin Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m, Omsk, 644000,

the Russian Federation.

The student OSTU.

Phone: (3812) 31-05-89.

E-mail: iatit@omgups.ru.

Kondratenko Evgeny Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m, Omsk, 644000,

the Russian Federation.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Wagons and rolling stock» OSTU.

Phone: (3812) 31-06-72.

KondratenkoEV@omgups.ru.

Petrov Vladimir Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av.m, Omsk, 644000,

the Russian Federation.

Candidate of Technical Sciences, Chief scientific worker, Associate Professor of the department «Automation and control systems» OSTU.

Phone: (3812) 31-05-89.

E-mail: PetrovVV@omgups.ru.

А. Н. Соловьев, А. С. Вильгельм

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВЗОВ СЕРИИ 2ЭС6 ПУТЕМ ПЕРЕХОДА НА АСИНХРОННЫЙ ПРИВОД

В статье описываются основные причины отказов электровозов постоянного тока, взятые из анализа об отказах технических средств эксплуатационного локомотивного депо Омск за 4 года. Показано, что работа асинхронного двигателя способна привести к снижению энергопотребления по счетчикам тяговых подстанций на 8,3 %. Предложение о замене коллекторного тягового электродвигателя на асинхронный на современных электровозах не только повысит процент надежности, но и даст потенциал для повышения энергоэффективности в развитии тяжеловесного движения в целом.

Ключевые слова: электровозы, асинхронный привод, эксплуатационная надежность, тяжеловесное движение, энергоэффективность

Anton N. Solovev, Alexander S. Vilgelm

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

INCREASE IN OPERATING RELIABILITY AND EFFICIENCY OF ELECTRIC LOCOMOTIVE 2ES6 USE BY TRANSITION TO ASYNCHRONOUS DRIVE

The article describes the main reasons for the failure of DC electric locomotives, taken from the analysis of the failure of technical means of the operational locomotive depot Omsk for 4 years. It is shown that the operation of an asynchronous motor can lead to a decrease in energy consumption according to the meters of traction substations by 8.3%. The proposal to replace the collector traction electric motor with an asynchronous one on modern electric locomotives will not only increase the percentage of reliability, but also provide the potential for increasing energy efficiency in the development of heavy-haul traffic in general

Keywords: electric locomotives, asynchronous drive, operational reliability, heavy traffic, energy efficiency.

Надежность электровозов – одно из наиболее значимых понятий, которое определяет способность безотказно работать с неизменными техническими характеристиками на протяжении заданного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации. Отказы технических средств наносят ощутимый материальный ущерб.

Отказы каких либо узлов локомотива можно разделить на конструкционные, технологические (производственные) и эксплуатационные. Конструкционные отказы возникают из-за несовершенства (незнания) или нарушения правил проектирования и конструирования электрической машины, технологические – из-за нарушения процесса производства или ремонта, эксплуатационные – из-за неправильного применения, отсутствия защиты, нарушений условий эксплуатации электрических машин. Отказы электрических машин могут быть обусловлены старением материалов и износом узлов, а также случайной концентрацией нагрузки, предвидеть которую практически невозможно.

Эксплуатация электровоза в условиях перепада температур усугубляется резкими изменениями скоростей движения, вызывающими столь же резкое изменение нагрузок двигателей, их частоты вращения, толчки и вибрацию. Высокие нагрузки на электродвигатель при вождении тяжеловесных поездов приводят к нагреву якорных обмоток и тепловому разрушению изоляции. Неравномерность распределения охлаждающего количества воздуха внутри двигателя, различия в нагрузках оси и диаметров бандажей колесных пар, расхождение скоростных характеристик двигателей приводят к неравномерному перегреву обмоток якоря и полюсных катушек.

При превышении допустимой температуры обмоток ТЭД и перегреве, их изоляция становится жесткой и хрупкой, что приводит к образованию трещин и расслоений. Через некачественные уплотнения коллекторных люков, воздухопроводов, а также через незакрытые вентиляционные отверстия двигателей, конструкция которых предусматривает защиту от попадания снега, внутрь двигателей всё-таки попадает вода и снег, что приводит к увлажнению изоляции. Это способствует резкому снижению сопротивления в обмотках.

Сбор статистических данных об отказах и их анализ необходим для разработки и уточнения методик расчёта надёжности электрических машин, обеспечения и повышения надёжности, совершенствования технологии изготовления, разработки выбора электрических машин, создания и улучшения систем защиты и правил технической эксплуатации. [1].

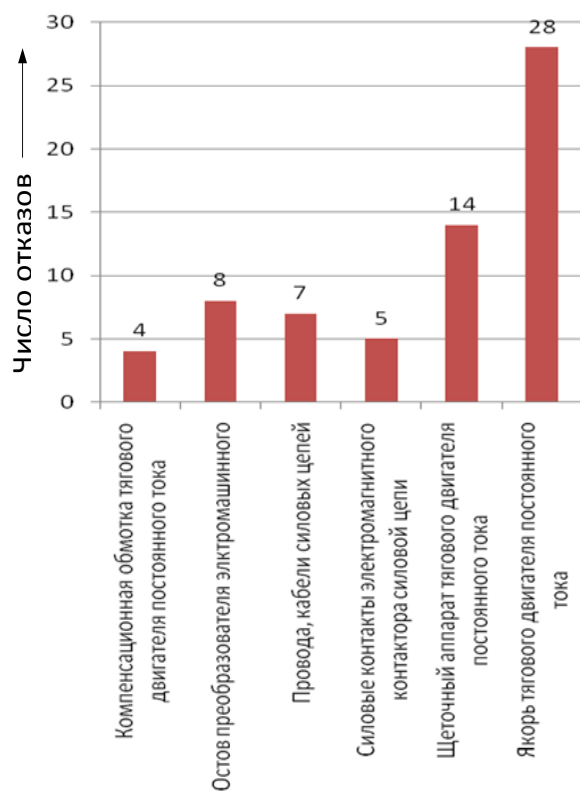


Рисунок 1 – Статистика ОТС в ТЧЭ-2 Омск 2017 г.

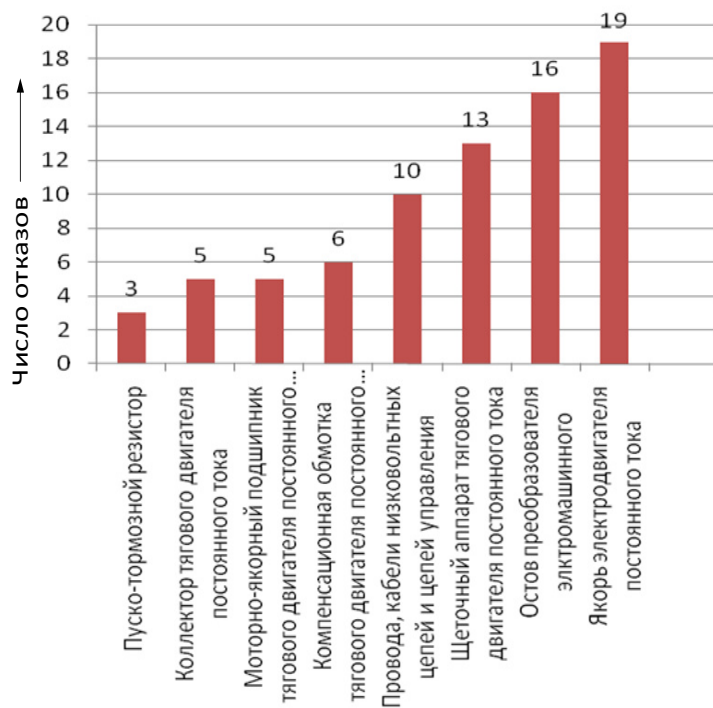


Рисунок 2 – Статистика ОТС в ТЧЭ-2 Омск 2018 г.

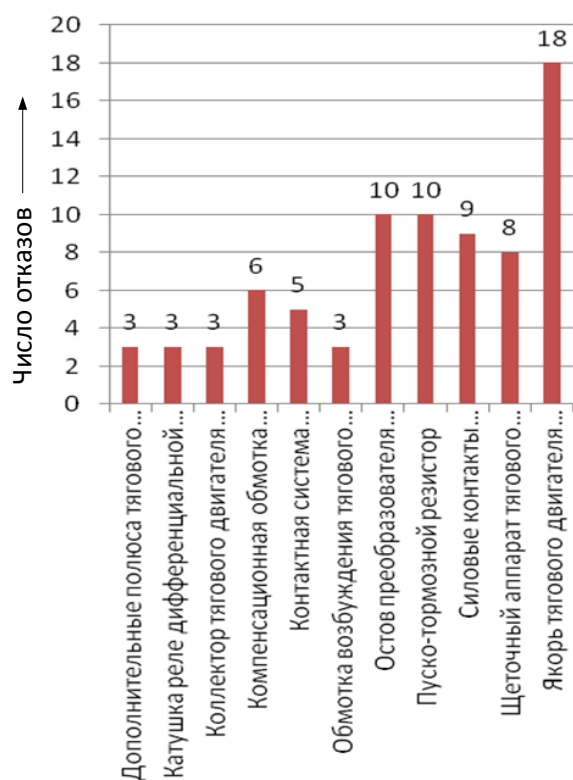


Рисунок 3 – Статистика ОТС в ТЧЭ-2 Омск 2019 г.

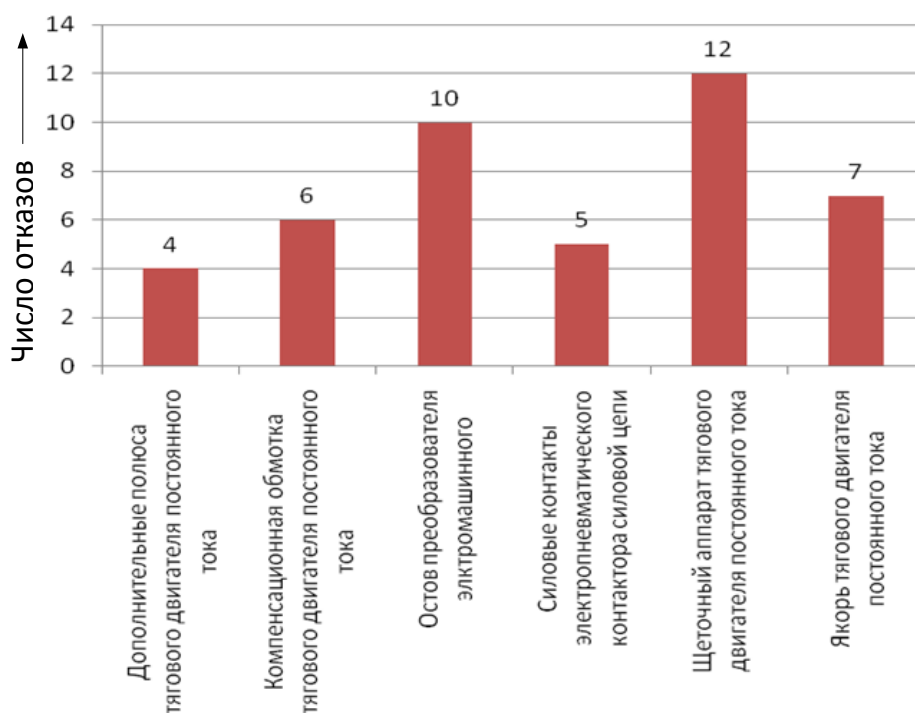


Рисунок 4 – Статистика ОТС в ТЧЭ-2 Омск 2020 г.

Исходя из статистики отказов технических средств электровозов серии 2ЭС6 приписки эксплуатационного депо Омск за 4 года (см. рисунки 1–4),

узлом наиболее подверженным отказам является тяговый электродвигатель. Основными причинами отказов являются как нарушение условий эксплуатации, так и неудовлетворительное качество ремонта, а именно:

- межвитковой короткое замыкание в обмотке якоря;
- пониженное сопротивление изоляции;
- пробой изоляции ТЭД.

Недостатки коллекторных двигателей:

- имеют «слабое звено» — графитовые щетки, которые быстро изнашиваются, что ограничивает срок службы;
- высокая себестоимость. [2]

Сегодня на железнодорожном подвижном составе в большом количестве используются коллекторные двигатели постоянного тока. Однако в мировом опыте железнодорожного машиностроения приоритетное значение придаётся развитию локомотивов с асинхронными тяговыми двигателями. Благодаря малому удельному расходу активных материалов они имеют лучшие массогабаритные показатели, требуют меньших затрат на их обслуживание, а высокая жёсткость электромеханических характеристик позволяет реализовать большие значения коэффициента сцепления. Единственным недостатком таких моделей считается чувствительность малого и большого пусковых токов к изменениям параметров сети. Для решения этой проблемы требуется преобразователь частоты.

Одной из задач «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г.» является замена коллекторного тягового электродвигателя частотно-регулируемым асинхронным. В ОАО «РЖД» эта задача уже реализуется. Асинхронный тяговый привод применяется на электровозах серии ЭП10, ЭП20, 2ЭС5, 2ЭС10, 2ЭС20. [3].

Таким образом, переход с коллекторного двигателя на асинхронный в электровозах серии 2ЭС6 может считаться перспективным путем решения проблемы снижения количества отказов технических средств и полностью соответствует долгосрочной программе развития ОАО «РЖД».

Завод «Уральские локомотивы» уже работает над созданием нового грузового электровоза на базе 2ЭС6 «Синара» с асинхронным приводом, для испытаний его планируется представить в 2021 году. Планируется, что в 2022 году будет сертифицирован новый грузовой электровоз серии 2ЭС6А с асинхронным тяговым двигателем [4].

Далее рассмотрим в сравнении эффективность коллекторного и асинхронного двигателей в тяжеловесном движении на примере электровозов 2ЭС6 и 2ЭС10 на участке Иртышское – Входная.

Таблица 1

Перечень экспериментальных поездок, для которых выполнен анализ

Серия электровоза	Номер электровоза	Масса состава, т	Удельный расход, кВт·ч/10 ⁴ ткм брутто	Удельная рекуперация, кВт·ч/10 ⁴ ткм брутто
2ЭС6	487	8939	51,9	2,5
2ЭС6	515	8935	56,5	1,4
2ЭС6	443	8984	54,5	3,1
2ЭС6	451	8949	53,2	3,4
2ЭС6	469	8928	53,2	0,5
2ЭС6	496	8990	51,1	1,2
2ЭС6	336	8981	53,7	1,4
2ЭС6	431	8976	52,1	3,3
2ЭС6	352	8985	54,2	1,6
2ЭС6	344	8913	53,5	3,3
2ЭС6	457	8954	55,2	2,0
2ЭС6	437	8917	52,3	1,8
2ЭС6	451	8915	54,3	1,1
2ЭС6	316	8915	59,5	2,2

Повышение провозной способности грузонапряженных направлений, а также оптимизация транспортных затрат на перевозку является основной целью «Программы развития на сети железных дорог ОАО «РЖД» тяжеловесного движения» от 2019 года. [5].

На участке обращения Иртышское – Входная организовано движение поездов повышенной массы и длины весом до 9000 тонн. Электровозы серий 2ЭС6 и 2ЭС10 наиболее подходящие для выполнения данной задачи.

Сравнивая статистические данные о расходе электроэнергии можно прийти к выводу о том, что средний удельный расход на сериях электровозов 2ЭС10 меньше, чем на 2ЭС6 – 54,00 кВт·ч/10⁴ ткм брутто против 49,5 кВт·ч/10⁴ ткм брутто. Так же стоит отметить, что в режиме рекуперации эффективность электровоза 2ЭС10 с асинхронным приводом выше, чем у коллекторного 2ЭС6 2,3 кВт·ч/10⁴ ткм брутто против 2,1 кВт·ч/10⁴ ткм брутто. Графики зависимости

удельного расхода от массы поезда, исходя из статистических данных системы ЦОММ за сентябрь месяц приведены на рисунках 5 и 6.

Таблица 2

Перечень экспериментальных поездок, для которых выполнен анализ

Серия электровоза	Номер электровоза	Масса состава, т	Удельный расход, кВт·ч/10 ⁴ ткм брутто	Удельная рекуперация, кВт·ч/10 ⁴ ткм брутто
2ЭС10	137	8928	50,5	1,2
2ЭС10	156	8933	51,8	0,9
2ЭС10	142	8994	50,0	3,9
2ЭС10	129	8981	41,3	7,8
2ЭС10	155	8914	56,2	3,9
2ЭС10	158	8882	51,8	1,8
2ЭС10	147	8954	47,1	1,2
2ЭС10	154	8868	48,3	1,1
2ЭС10	143	8948	51,7	1,4
2ЭС10	124	8823	50,5	2,0
2ЭС10	161	8973	47,2	1,7
2ЭС10	127	8906	48,5	0,6
2ЭС10	157	8997	51,8	2,4
2ЭС10	162	8986	45,9	2,1

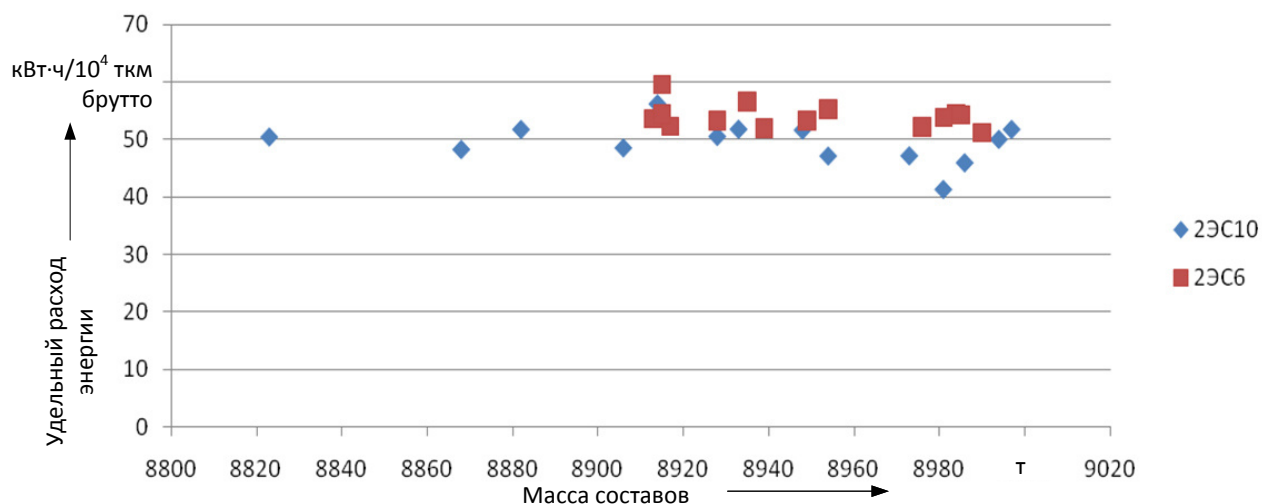


Рисунок 5 – Удельный расход электроэнергии электровозов серии 2ЭС6 и 2ЭС10

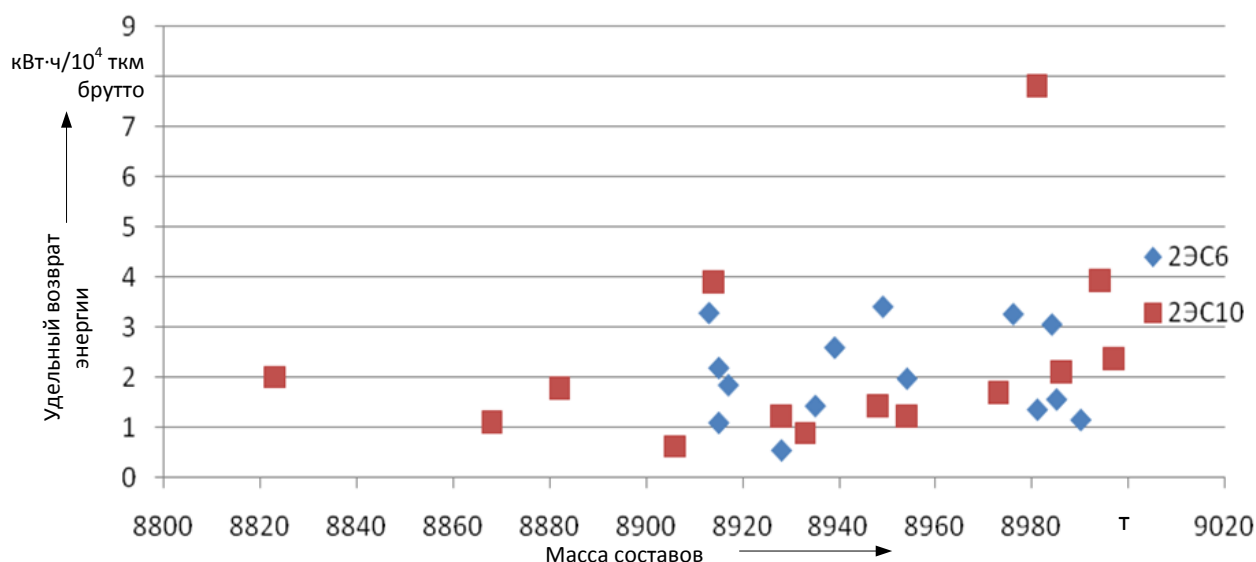


Рисунок 6 – Удельный возврат электроэнергии в сеть на электровозах серии 2ЭС6 и 2ЭС10

Экспериментальные данные доказывают, что уход от коллекторного привода в пользу асинхронного на современных электровозах дает не только повышение надежности и безотказности производственного процесса, но и достаточный потенциал для повышения энергоэффективности тяжеловесного движения.

Список литературы

1. Иванов, В. Н. Анализ надежности тяговых электрических машин электровозов, эксплуатируемых на железных дорогах восточного региона / В. Н. Иванов. – Москва : Московский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – С. 3–10. – Текст : непосредственный.
2. Литвинов, А. В. Совершенствование технологии испытаний асинхронных тяговых двигателей локомотивов : специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог тяга поездов и электрификация» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Литвинов Артем Валерьевич ; Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2014. – 216 с. – Текст : непосредственный.
3. Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г № 877-р. : утверждена распоряжением правительства РФ от 17.06.2008 г. – 171с.

4. Электровозам придадут силы // Гудок : электронная газета. – URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1493043&archive=2020.02.10> (дата обращения 01.11.2020). – Текст: электронный.

5. Программа развития на сети железных дорог ОАО «РЖД» тяжеловесного движения : утверждена первым заместителем генерального директора ОАО «РЖД» А. А. Краснощек. – Москва, 2019. – 68с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Соловьев Антон Николаевич

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) 33-33-33.
E-mail: ostu@gmail.com.

Вильгельм Александр Сергеевич

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.: (381-2) 44-39-23.
E-mail: vilgelm87@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Solovev Anton Nikolaevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Postgraduate student of the department
"Technologies of transport engineering
and rolling stock repair" OSTU.
Phone: +7 (3812) 33-33-33.
E-mail: ostu@gmail.com.

Vilgelm Alexander Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Cand.Tech.Sci, Assistant Professor
of the Department "Technologies
of transport engineering and rolling
stock repair" OSTU.
Phone: (3812) 44-39-23.
E-mail: vilgelm87@gmail.com.

УДК (621.9.015 : 629.014.7).001.57

М. И. Бисерикан, С. В. Петроченко

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА МЕЖРЕМОНТНЫЙ ПРОБЕГ КОЛЕС

В статье рассмотрены результаты исследования процессов, протекающих при взаимодействии колеса с рельсом. Оценено состояние поверхности образцов на наличие

контактно-усталостных дефектов. Установлена взаимосвязь между повреждаемостью колес подвижного состава и абразивным износом, а также усталостным разрушением. Построена зависимость числа циклов нагружения роликов от высоты волнистости, позволяющая определить число циклов воздействия приложенной к поверхности ролика нагрузки, в зависимости от макрогеометрических параметров его поверхности. Представлены результаты определения значения межремонтного пробега в зависимости от отклонений формы колеса и скорости.

Ключевые слова: контактно-усталостные явления, износ, усталостный дефект, колесо повышенной твердости, взаимодействие колеса и рельса.

Mikhail I. Biserikan, Sergey V. Petrochenko

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

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL HERITAGE ON THE INTER-REPAIR MASSAGE OF LOCOMOTIVE WHEELS

The article discusses the results of a study of the processes occurring during the interaction of a wheel with a rail. The state of the surface of the samples was evaluated for the presence of contact-fatigue defects. The relationship between the damageability of wheels of a rolling stock and abrasive wear and fatigue failure has been established. The dependence of the number of cycles of loading the rollers on the height of the waviness is constructed, which makes it possible to determine the number of cycles of action of the load applied to the surface of the roller, depending on the macrogeometric parameters of its surface. The results of determining the value of the turnaround time depending on the deviations of the wheel shape and speed are presented.

Keywords: contact-fatigue appearance, wear, fatigue defect, high-hardness wheel, wheel-rail interaction.

Движение колеса грузового вагона по рельсу характеризуется значительными динамическими нагрузками, изменяющимися в широких пределах. В связи с этим возрастают механические напряжения в ободу колеса, что вызывает ускорение процесса накопления усталостных повреждений и скорости абразивного изнашивания трущихся поверхностей. Для уменьшения данного эффекта был изменен химический состав стали, применяемой для производства колес грузовых вагонов, в результате чего увеличились её временного сопротивления до $\sigma_b = 1020 \div 1180$ МПа и твердости до $HV = 3200 \div 3600$ МПа при сохранении значения ударной вязкости $KCU = 16$ Дж/см². Это

привело к уменьшению числа отцепок грузовых вагонов на неплановые ремонты из-за износа (прокат поверхности катания снизился на $30 \div 35 \%$, подрез гребня на $-45 \div 54 \%$). Однако было отмечено увеличение числа отцепок по термомеханическим повреждениям – ползунам на поверхности катания, и усталостным повреждениям – выщербинам [1]. Колесные пары с подобными дефектами изымаются из эксплуатации и подвергаются восстановлению профиля поверхности катания с помощью лезвийной обработки на специализированном оборудовании. В результате точения слой металла толщиной до $10 \div 15$ мм превращается в стружку, а восстановленная поверхность подвержена технологической наследственности. К данному явлению не предъявляются особые требования, регламентирована только наибольшая разница диаметров колеса, измеренных в трех положениях. Таким образом, на поверхности катания восстановленного колеса находятся участки – концентраторы механических напряжений. Исследованиями [2] установлено значительное увеличение возникающих напряжений: при некоторых условиях – в 1,8 – 2 раза. Материал колеса работает в условиях всестороннего сжатия и столь высокие напряжения существенно ускоряют процессы изнашивания, что приводит к необходимости определения параметров макрогеометрических отклонений профиля поверхности и ограничению их величины.

Для исследования процессов, протекающих при взаимодействии колеса с рельсом, использовали методику, представленную в работе [3], основанную на взаимодействии двух роликов, моделирующих взаимодействие пары трения колесо–рельс (рисунок 1).

Ролик 1, имитирующий рельс, выполненный в виде диска, устанавливается в оправку 2 шпинделя станка. На суппорте станка 7 крепится приспособление 6 с расположенной внутри пружины 3, и установленной вилкой 5, в центрах которой размещается ролик 4, имитирующий колесо. Для устойчивого контакта имитатор колеса подводится к имитатору рельса при помощи поперечной подачи. Скорость вращения имитаторов регулируется при помощи коробки скоростей станка. Силовое взаимодействие данных роликов обеспечивается тарированной пружиной.

Ролики для имитации колес изготавливали из заготовок, вырезанных из материала цельнокатаного колеса на расстоянии $5 \div 10$ мм от поверхности катания. Термическую обработку проводили для достижения средней твердости цельнокатаного колеса 3400 HB, согласно ГОСТ 10791–2004. В качестве

имитатора рельса использовали диск, изготовленный из стали Р65, закаленный при температуре $T = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ с выдержкой в течение $t = 20$ мин и охлаждением в масле марки И40 для обеспечения твердости. Твердость образца составила 4010 HB , что соответствует регламентируемой твердости по ГОСТ Р51045–97. Термическая обработка имитаторов проводилась в электрической камерной печи 1,6.2,5.1/11-И1М НПФ ТерМИКС. Контроль твердости осуществлялся твердомером ТШ-2М по методу Бринелля.

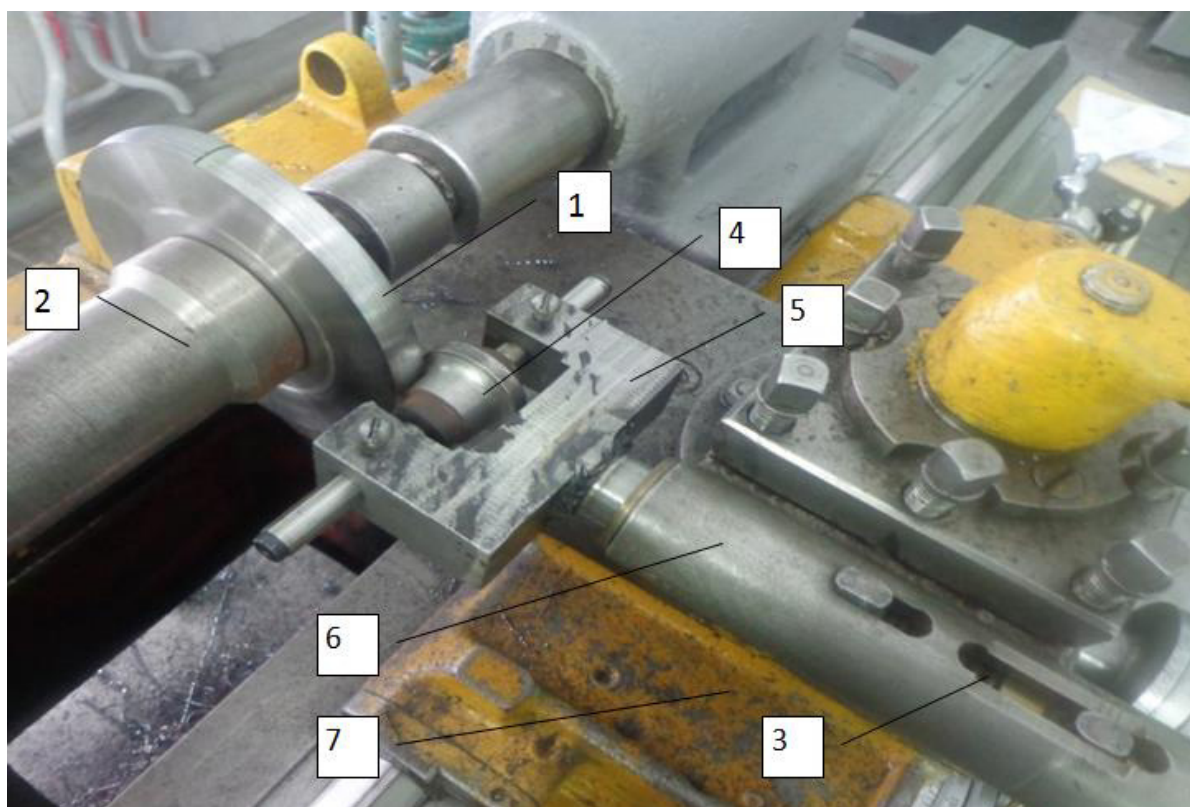


Рисунок 1 – Установка для испытания пары колесо–рельс на контактную усталость:

- 1 – ролик, имитирующий рельс; 2 – оправка; 3 – пружина; 4 – ролик, имитирующий колесо;
5 – вилка; 6 – приспособление; 7 – суппорт

В эксперименте размеры колеса и рельса на роликах были уменьшены в 20 раз и принята шероховатость $Ra = 1,25\text{ мкм}$, соответствующая стадии приработки колеса и рельса. Линейная скорость имитатора колеса соответствовала линейной скорости вращения колесной пары в рабочих режимах хода поезда, с учетом перспективы повышения ее до 160 км/ч (таблица 1). К ролику имитирующему колесо, прикладывалась нагрузка $P_0 = 890\text{ Н}$.

Таблица 1

Соотношение частоты вращения и линейной скорости подвижного состава

$n_{ст}, \text{мин}^{-1}$	$n_{обр}, \text{мин}^{-1}$	$K_{п}$	$v_{п}, \text{км/ч}$
80	400	0,91	80
125	625		120
160	800		160

Так как в лабораторных условиях затруднительно реализовать нагрузки, действующие на колесо в процессе эксплуатации, они были уменьшены с учетом поправочного коэффициента $K_{п}$ (таблица 2).

Таблица 2

Соотношение нагрузки на колесо и усилия на образец

Нагрузка	$P_{к}, \text{Н}$	$\sigma_{\max к}, \text{МПа}$	$K_{п}$	$P_{обр}, \text{Н}$	$\sigma_{\max обр}, \text{МПа}$
P_0	136800	1425	153,2	890	1420
P_1	175100	1710		1150	1700
P_2	143600	1650		940	1635
P_3	168400	1700		1100	1690

При механической обработке, у образцов, имитирующих колесо, образовалась волнистость, в результате чего поверхность ролика нагружалась неравномерно. Высоту волнистости образцов подобрали таким образом, чтобы напряжения, возникающие при контакте между имитаторами, соответствовали напряжениям при взаимодействии колеса и рельса. Образцы разделили на 4 группы с максимальной высотой волнистости их поверхности соответственно от 0,02 до 0,05 мм. На образцах были выделены области, соответствующие максимальным высотам волнистости. Значения максимальных напряжений в пятне контакта, приведённые в таблице 2, получены по методике, представленной в работе [3]. Число циклов взаимодействия контактирующих тел, соответствует числу оборотов вагонного колеса, проходящего расстояние в 20 тыс. км. Опыты повторялись до достижения числа нагружений, соответствующих 300 тыс. км пути, проходимым вагоном.

Для оценки состояния поверхности образцов на наличие контактно-усталостных дефектов через данные промежутки времени осуществлялся визуальный осмотр. На рисунке 2 представлены результаты осмотра

поверхности ролика, имитирующего колесо. На рисунке 3, данная область показана с увеличением в 10 раз.

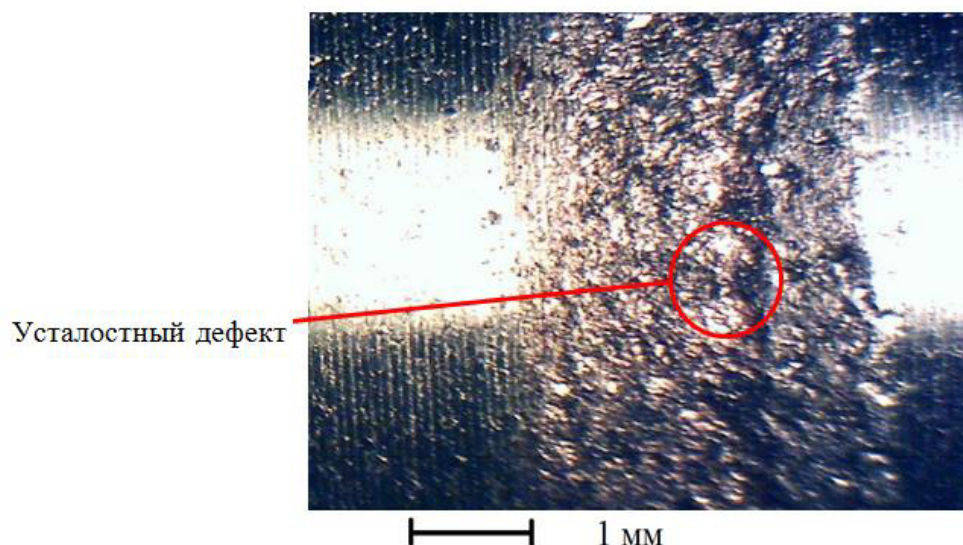


Рисунок 2 – Усталостное разрушение поверхности роликов

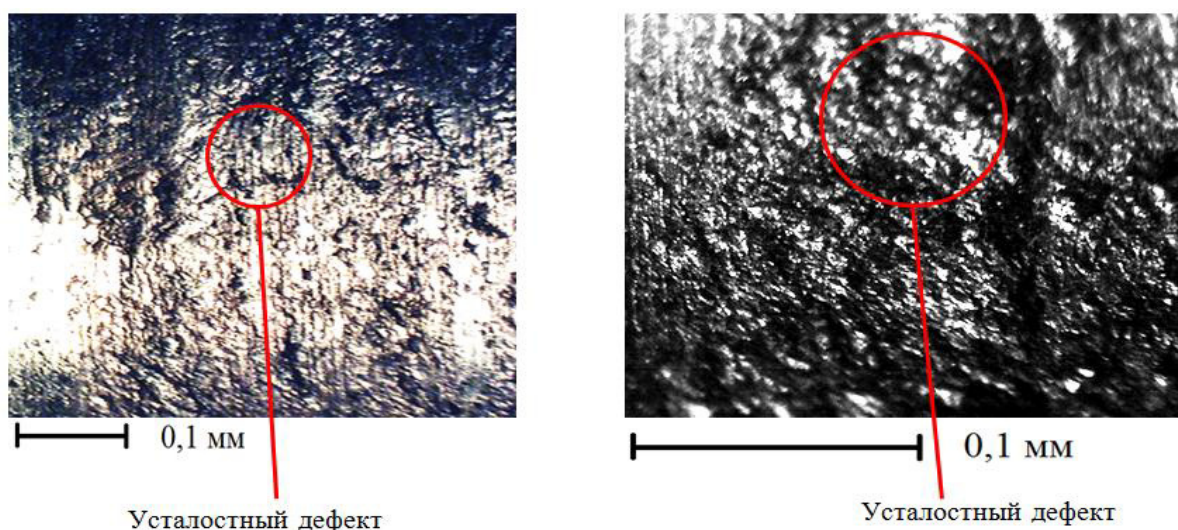


Рисунок 3 – Область усталостного разрушения поверхности роликов $\times 10$

Результаты измерений позволили сделать вывод о связи между максимальной высотой волнистости на поверхности ролика и скоростью её повреждения. При этом неровности являются центром зарождения дефекта. По результатам эксперимента построена зависимость (рисунок 4) числа N циклов нагружения роликов от высоты h волнистости. Высота волнистости образца изменялась от 0,02 до 0,05 мм, что с учетом коэффициента подобия соответствует высоте макронеровности $0,15 \div 0,6$ мм на поверхности вагонного колеса.

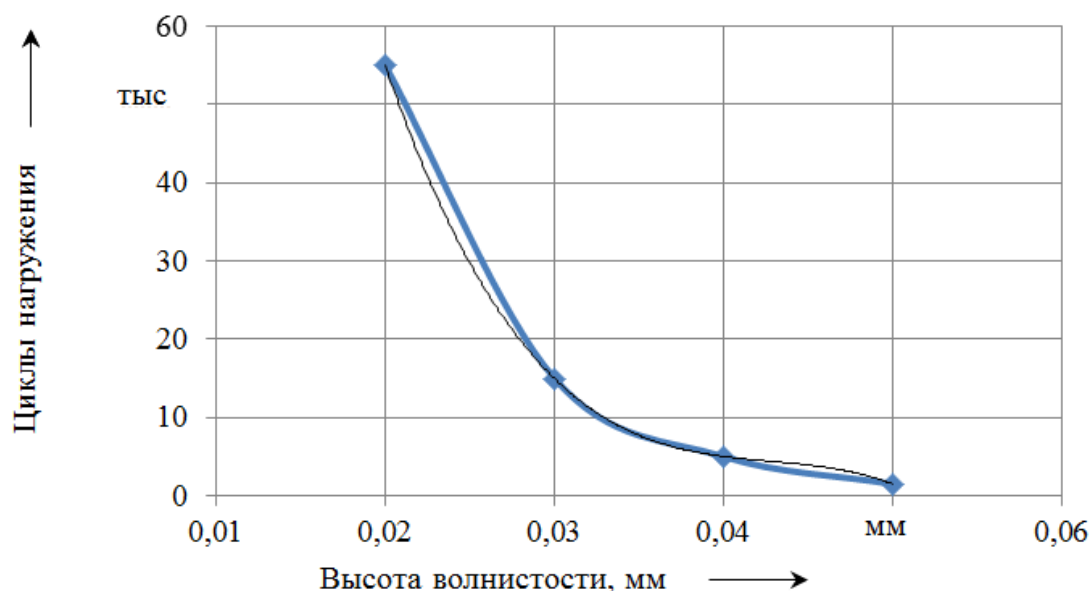


Рисунок 4 – Зависимость числа циклов нагружения ролика от высоты волнистости

Из опыта следует, что признаки усталостного повреждения поверхности наблюдались уже после $N = 21000$ цикл (см. рисунок 4), что соответствует пробегу колеса 62 тыс. км.

Данная зависимость позволяет определить число циклов воздействия приложенной к поверхности ролика нагрузки в зависимости от макрогеометрических параметров его поверхности. Зависимость описывается полиномиальной функцией 3-й степени:

$$N = -1,37 \cdot 10^9 x^3 + 2 \cdot 10^8 x^2 - 9,7 \cdot 10^6 x + 1,6 \cdot 10^5.$$

Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$.

По информации, поступившей из автоматизированной базы данных ОАО «РЖД» [4], составлен график распределения пробега колес повышенной твердости между их обточками (рисунок 5), анализ которого позволяет сделать вывод о том, что около 27 % парка колесных пар имеют пробег, значительно меньший регламентированного правилами ремонта; из них примерно половина (13,4 % колес) требуют восстановления поверхности катания при пробеге менее 60 тыс. км. Основная группа колес имеет пробег до обточки от 141 до 160 тыс. км., и только у 6,3 % пробег между переточками превышает 160 тыс. км. При повышении высоты макронеровности область, в которой работает колесо (см. рисунок 4), смещается влево и вверх, т.е. с преобладающими контактно-усталостными повреждениями. Таким образом, данные, полученные

в результате экспериментального исследования и математического моделирования, согласуются с данными повреждений и пробега колесных пар в эксплуатации.

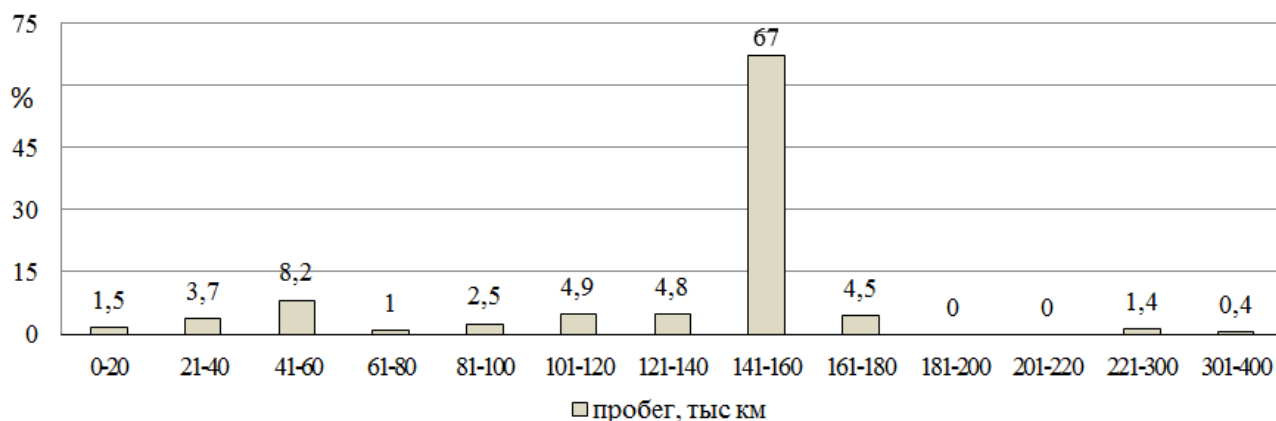


Рисунок 5 – Зависимость повреждаемости поверхности катания колеса от пробега колесной пары

Выполненное экспериментальное исследование усталостной долговечности вагонного колеса показало, что его макрогеометрические отклонения ускоряют развитие контактно-усталостных дефектов. Увеличение высоты волнистости с 0,02 до 0,05 мм уменьшает в 3,6 раза число циклов нагружения образца, имитирующего вагонное колесо, до появления усталостных трещин.

Список литературы

1. Обрывалин, А. В. Восстановление профиля катания вагонных колес повышенной твердости с эксплуатационными дефектами термомеханического происхождения / А. В. Обрывалин. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2012. – № 4 (12). – С. 30–35.
2. Бисерикан, М. И. Влияние технологической наследственности на контактное напряжение в системе «колесо-рельс» / М. И. Бисерикан, А. В. Обрывалин, А. А. Рауба. – Текст : непосредственный // Омский научный вестник. – 2011. – № 1 (97). – С. 68–72.
3. Бисерикан, М. И. Обеспечение работоспособности колес грузовых вагонов, эксплуатируемых в условиях повышенных динамических нагрузок : специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» : диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бисерикан Михаил Иванович ; Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2013. – 158 с. – Текст : непосредственный.

4. Справочные материалы по поступлению колесных пар грузовых вагонов в ВКМ и КРЦ вагоноремонтных и эксплуатационных депо России за 2011 год. – Москва : ПКБ ЦВ ОАО «РЖД», 2012. – 47 с. – Текст : непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бисерикан Михаил Иванович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технологии транспортного машиностроения
и ремонта подвижного состава» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-11
E-mail: radenxg@mail.ru

Петроченко Сергей Валерьевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технологии транспортного машиностроения
и ремонта подвижного состава» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-11.
E-mail: c.o.r.d.8477@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Biserikan Mikhail Ivanovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk.644046,
the Russian Federation
Candidate of technical sciences, associate
professor of the department "Technologies of
transport engineering and rolling stock
repair" OSTU.
Phone: (3812) 31-18-11
E-mail: radenxg@mail.ru

Petrochenko Sergey Valerevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk.644046,
the Russian Federation
Candidate of technical sciences, associate
professor of the department "Technologies of
transport engineering and rolling stock
repair" OSTU.
Phone: (3812) 31-18-11.
E-mail: c.o.r.d.8477@gmail.com.

УДК 621.313.33:621.314.57

В. В. Харламов, Д. И. Попов, Р. В. Сергеев

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

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПУТЕМ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

В статье выполнен анализ известных схем для испытаний асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки с применением генераторов постоянного тока. Отмечены

недостатки схем. Приведена схема, разработанная авторами с целью повышения эффективности эксплуатации электротехнических комплексов для испытания асинхронных двигателей. Даны рекомендации применения разработанной схемы при техническом обслуживании подвижного состава железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: техническое обслуживание, эксплуатация, асинхронный двигатель, испытательные комплексы, взаимная нагрузка.

Viktor V. Kharlamov, Denis I. Popov, Roman V. Sergeev

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

DEVELOPMENT OF A TEST SCHEME FOR AN INDUCTION MOTOR BY MUTUAL LOAD USING A DC GENERATOR

The article analyzes the schemes for testing induction motors by the mutual load method using DC generators. Disadvantages of schemes are noted. The scheme developed by the authors to improve the efficiency of operation of electrical systems for testing induction motors is presented. Recommendations for the application of the developed scheme in the maintenance of railway rolling stock are given.

Keywords: maintenance, operation, asynchronous motor, test complexes, mutual load.

Развитие силовой полупроводниковой техники и появление мощных преобразователей частоты, предназначенных для управления электрическими двигателями большой мощности, обусловили разработку схем, позволяющих осуществлять испытания с применением метода взаимной нагрузки для асинхронных двигателей.

Одним из типов данных схем являются схемы с нагрузочными генераторами постоянного тока. Пример одной из таких схем, патент на которую получен группой авторов из МИИТа, приведен на рисунке 1 [1].

Наличие в схеме двух нагрузочных машин постоянного тока 4 и 5 объясняется тем, что номинальная мощность испытуемого асинхронного двигателя 1 может составлять 1200-1500 кВт, при том, что в качестве нагрузочных генераторов предлагается применять коллекторные тяговые двигатели мощностью порядка 800 кВт.

В описании патента авторы отмечают, что данная схема предназначена для испытания тяговых электродвигателей большой мощности (до 2000 кВт) на электровагоностроительных и электровагоноремонтных заводах.

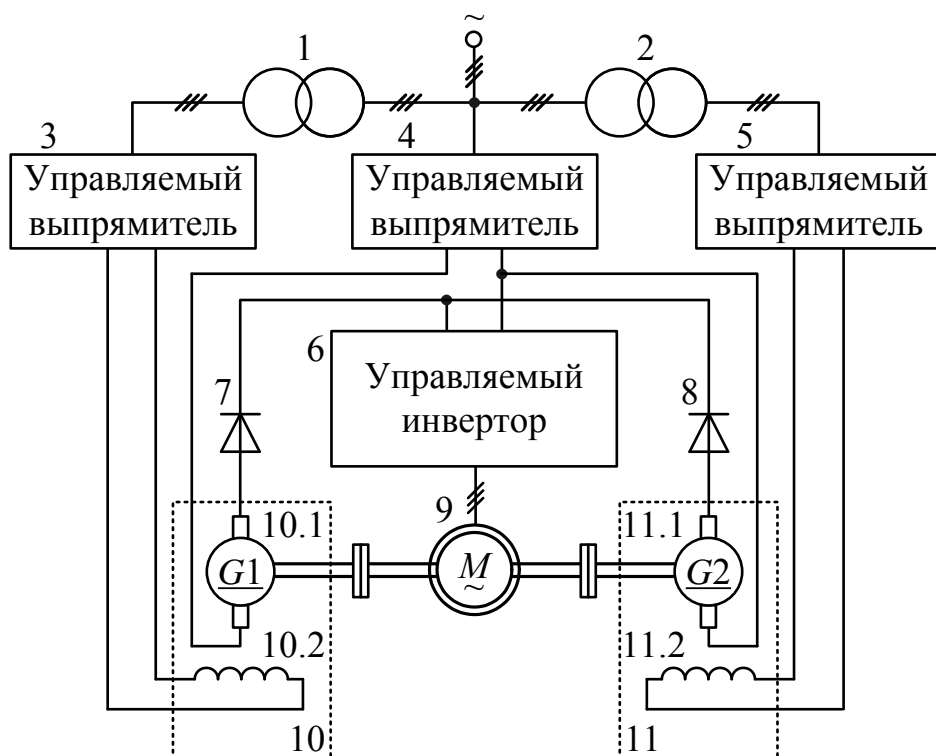


Рисунок 1 – Схема испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки с двумя нагрузочными генераторами постоянного тока

На представленной схеме испытуемый асинхронный двигатель 9 имеет выходы вала с двух сторон, с которых посредством муфт он соединен с валами нагрузочных генераторов 10 и 11. Нагрузочные генераторы имеют якорные обмотки 10.1 и 11.1, подключенные к цепи постоянного тока управляемого выпрямителя-инвертора 9, и обмотки возбуждения 10.2 и 11.2, подключенные к выходам управляемых выпрямителей 3 и 5, питающихся от понижительных трансформаторов 1 и 2.

Обмотка статора асинхронного двигателя 9 подключена к выходу управляемого инвертора 6, получающего питание от управляемого выпрямителя 4 и нагрузочных генераторов 10 и 11. Для предотвращения возможности короткого замыкания по цепям обмоток якоря генераторов 10.1 и 11.1 к ним подключены диоды 7 и 8 соответственно.

Схема, представленная на рисунке 1, осуществляет режим взаимной нагрузки следующим образом. Запускают асинхронный двигатель 9 в режиме холостого хода до необходимой скорости вращения путем подачи ему питания от управляемого инвертора 6. Одновременно с валом асинхронного двигателя 9 разгоняются якоря нагрузочных генераторов 10.1 и 11.1. Далее для увеличения якорных ЭДС подается

питание на обмотки возбуждения 10.2 и 11.2 от управляемых инверторов 3 и 5. Обмотка якоря нагрузочного генератора 10.1 включена последовательно в звене постоянного тока, соединяющего выход управляемого выпрямителя 4 и вход управляемого инвертора 6, тем самым позволяя повысить в данной цепи напряжение. Обмотка якоря нагрузочного генератора 11.1 включена параллельно выходу управляемого выпрямителя 4. Управляемый выпрямитель 4 получает питание от стандартной цеховой сети 3х380 В.

Недостатком данной схемы (см. рисунок 1) является ее специфичность и, как следствие, избыточность ее составных элементов: при равенстве мощностей испытуемого асинхронного двигателя 9 и нагрузочной машины 11 отсутствует необходимость во второй нагрузочной машине 10. Однако для работы подобной схемы с одним нагрузочным генератором необходимо, чтобы его номинальное напряжение якоря было выше напряжения на выходе выпрямителя 4, определяемого напряжением сети и схемой выпрямления.

Схема испытания асинхронного двигателя методом взаимной нагрузки с одним нагрузочным генератором постоянного тока, разработанная сотрудниками ОАО «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт электровозостроения», приведена на рисунке 2 [2]. Авторы данной схемы отмечают, что она может быть применена для испытаний асинхронных и синхронных двигателей. На приведенной схеме изображены только элементы силовой части (электрические машины, статические преобразователи, контактор) и датчики напряжения. Элементы управления схемы опущены.

Работа устройств в данной схеме при испытании асинхронного двигателя осуществляется в следующем порядке. Исходное положение контактора 2 – разомкнутое. От источника постоянного тока подается питание на управляемый инвертор 4, который формирует переменное напряжение необходимой амплитуды и частоты. Данное напряжение подается на обмотку статора машины переменного тока, которая запускается на холостом ходу до необходимой частоты вращения, раскручивая также и якорь нагрузочного генератора 7.1. С помощью управляемого выпрямителя, получающего питание от сети переменного тока, подается питание на обмотку возбуждения 7.2 нагрузочного генератора 7. Далее сравниваются напряжения, фиксируемые с помощью датчиков 1 и 3. При равенстве напряжений на входе управляемого инвертора и на выходе обмотки якоря 7.1 включается контактор 2. Далее за

счет увеличения напряжения на выходе управляемого выпрямителя 5, подаваемого на обмотку возбуждения 7.2, увеличивается ЭДС обмотки якоря 7.1, что приводит к переходу нагрузочной машины постоянного тока в генераторный режим и увеличению нагрузки асинхронного двигателя 6.

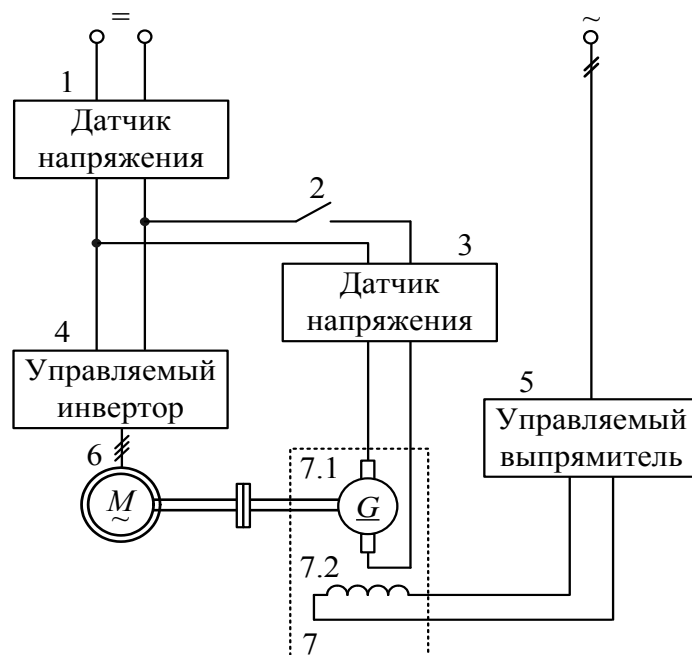


Рисунок 2 – Схема испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки с нагрузочным генератором постоянного тока

Данная схема испытаний асинхронных двигателей (см. рисунок 2) по сравнению с предыдущей (см. рисунок 1) является более простой и надежной. Кроме того она имеет меньшее количество преобразователей и, следовательно, меньшие потери энергии.

Преимуществом схемы, приведенной на рисунке 2 над схемой, представленной на рисунке 1, является значительное упрощение силовой части. Недостатком схемы, приведенной на рисунке 2, является усложнение процесса включения обмотки якоря нагрузочного генератора в цепь питания управляемого инвертора. Для устранения недостатков рассмотренных схем предложена следующая схема для испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки, приведенная на рисунке 3 [3].

Данная схема (рисунок 3) сочетает в себе все преимущества предыдущих схем, является наиболее простой как в силовой части, так и в управлении процессом подключения обмотки якоря 3.1 к звену постоянного тока преобразователя частоты 1. В данной схеме источником питания является двухзвенный преобразователь частоты 1, питающийся от трехфазной сети

переменного тока, имеющий на входе неуправляемый выпрямитель. Обмотка возбуждения 3.2 нагрузочной машины постоянного тока 3 получает питание от звена постоянного тока преобразователя частоты 1.2 и создает магнитное поле, величина магнитного потока которого регулируется путем изменения сопротивления регулировочного реостата 5. В процессе испытаний при необходимости создания механической нагрузки асинхронному двигателю с помощью регулировочного реостата 5 увеличивается магнитный поток нагрузочной машины 3. При этом величина электродвижущей силы обмотки якоря 3.1 становится больше, чем напряжение на выходе звена постоянного тока 1.2, следовательно, машина постоянного тока 3 нагружается в режиме генератора, создавая тем самым механический момент нагрузки на валу испытуемого асинхронного двигателя 2. Электрическая энергия, вырабатываемая нагрузочной машиной постоянного тока 3, передается испытуемому асинхронному двигателю 2 от обмотки якоря 3.1 через звено постоянного тока 1.2 и управляемый инвертор 1.3.

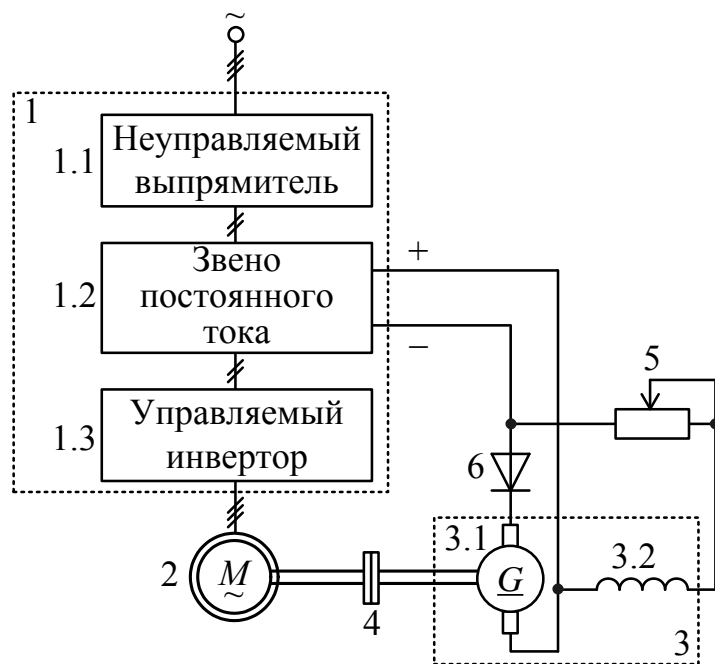


Рисунок 3 – Схема испытания асинхронных двигателей методом взаимной нагрузки с нагрузочным генератором постоянного тока с диодной защитой от короткого замыкания в цепи якоря

При малых значениях ЭДС обмотки якоря 3.1 она оказывается отсечена от звена постоянного тока диодом 6. После запуска асинхронного двигателя 2 на холостом ходу и установлении достаточного тока в обмотке возбуждения 3.2 ЭДС обмотки якоря превысит напряжение в ЗПТ и генератор 3 начнет передавать

вырабатываемую им электроэнергию на вход управляемого инвертора 1.3.

В условиях тенденции внедрения на железнодорожном транспорте асинхронного тягового привода рекомендуется применение разработанной схемы испытаний в ремонтных депо при техническом обслуживании железнодорожного подвижного состава.

Список литературы

1. Патент № 99186 Российская федерация, МПК G01R 31/34. Стенд для испытаний асинхронного тягового электродвигателя : 2010122670/28 : заявлено 04.06.2010: опубликовано 10.11.2010 / Л. Г. Козлов, С. С. Осипов, В. П. Феокистов, В. А. Коновалов (Россия) ; заявитель и патентообладатель Московский гос. ун-т путей сообщения (МИИТ).

2. Патент № 2200960 Российская федерация, МПК G01R 31/34. Устройство для испытаний бесколлекторных электрических машин переменного тока : 2001101213/09 : заявлено 12.11.2001 : опубликовано 20.03.2003 / А. С. Курбасов, И. Л. Таргонский, Э. А. Долгошеев (Россия) ; заявитель и патентообладатель ОАО Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский ин-т электровозостроения.

3. Патент № 195604 Российская федерация, МПК G01R 31/34. Стенд для автоматизированных испытаний асинхронного двигателя : 2019132469 : заявлено 14.10.2019 : опубликовано 03.02.2020 / В. В. Харламов, Д. И. Попов (Россия) ; заявитель и патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Харламов Виктор Васильевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,
Российская Федерация.
Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Электрические
машины и общая электротехника» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: emoe@omgups.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kharlamov Victor Vasilyevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644000,
the Russian Federation.
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of department of «Electrical machines
and general electrical engineering» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: emoe@omgups.ru.

Попов Денис Игоревич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Электрические машины
и общая электротехника» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: emoe@omgups.ru.

Сергеев Роман Владимирович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Электрические машины
и общая электротехника» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: emoe@omgups.ru.

Popov Denis Igorevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644000,
the Russian Federation.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor of
department of «Electrical machines and
general electrical engineering» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: emoe@omgups.ru.

Sergeev Roman Vladimirovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644000,
the Russian Federation.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Associate Professor of
department of «Electrical machines and
general electrical engineering» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-27.
E-mail: emoe@omgups.ru.

УДК 621.313.2

П. К. Шкодун

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

**ФОРМИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ВОЛНОВОГО
ОТКЛИКА МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЯКОРНЫХ ОБМОТОК
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Целью статьи является совершенствование программного обеспечения прибора контроля состояния межвитковой изоляции тяговых электродвигателей подвижного состава. Рассмотрен реальный сигнал волнового отклика, получаемый на якорной обмотке тягового электродвигателя. Предложено использовать виртуальный эталон волнового отклика, описывающий исправное состояние межвитковой изоляции якорной обмотки тягового электродвигателя. О степени отклонения от виртуального эталона предложено судить по коэффициентам отклонения декремента затухания и угловой частоты. Установлены диапазоны изменения параметров коэффициентов отклонения от

виртуального эталона, соответствующего работоспособному состоянию межвитковой изоляции якорной обмотки тягового электродвигателя. Определены особенности использования виртуальных эталонов при реализации метода волнового отклика в процессе технического обслуживания при диагностировании состояния межвитковой изоляции якорной обмотки тягового электродвигателя.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель, изоляция, виртуальный эталон, волновой отклик.

Pavel K. Shkodun

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

FORMATION OF A VIRTUAL STANDARD OF WAVE RESPONSE OF TURN-TO-TURN INSULATION OF ANCHOR WINDINGS OF ELECTRIC TRACTION MACHINES OF RAILWAYS

The purpose of the article is to improve the software of the device for monitoring the state of the turn-to-turn insulation of traction electric motors of rolling stock. The real signal of the wave response obtained on the armature winding of the traction motor is considered. It is proposed to use a virtual standard of the wave response describing the good condition of the interturn insulation of the traction motor armature winding. It is proposed to judge the degree of deviation from the virtual standard by the coefficients of deviation of the damping decrement and angular frequency. The ranges of variation of the parameters of the coefficients of deviation from the virtual standard corresponding to the operable state of the turn-to-turn insulation of the traction motor armature winding are determined. The features of using virtual standards in the implementation of the wave response method in the process of maintenance when diagnosing the state of the turn-to-turn insulation of the traction motor armature winding are determined.

Keywords: traction motor, insulation, virtual standard, wave response.

Надежность электродвигателей подвижного состава определяется достаточно сложным сочетанием различных факторов и обстоятельств: качеством и степенью проработанности изделия при проектировании, особенностями технического обслуживания и ремонта, условиями внешней среды и режимами эксплуатации. С началом использования на железных дорогах России новых серий тягового подвижного состава, отмечается наличие этапа приработки, когда интенсивность отказов оказывается на высоком уровне. С другой стороны, старый локомотивный парк переходит в стадию, описываемую законом распределения Рэлея, что характеризует интенсивное

старение и износ. Значительная деградация межвитковой изоляции тяговых электродвигателей (ТЭД) происходит в осенне-зимний, зимний и весенне-зимний периоды, когда тепловое состояние электродвигателя постоянно претерпевает переходы через точку росы, при этом возникает переувлажнение изоляции, а при дальнейшей сушке образуются пустоты и трещины в эмалевом слое, еще больше увеличивающие скорость старения и снижающие электрическую прочность изоляции.

Статистические исследования показывают, что на долю ТЭД приходится до 14% отказов узлов электровозов [1], при этом по причине деградации изоляции выходят из строя до 80 % электродвигателей. Обнаружение начала деградационного процесса в межвитковой изоляции ТЭД подвижного состава является важной научной задачей [2], направленной на снижение издержек, связанных с последствиями подобных повреждений за счет эффективного выполнения ремонта и технического обслуживания.

Известен метод определения повреждений межвитковой изоляции якорной обмотки электродвигателей постоянного тока с помощью анализа параметров и формы волнового отклика [3]. В этом методе осуществляется запись волнового затухающего процесса (волнового отклика), возникающего в якорной обмотке под действием прямоугольных импульсов при разных угловых положениях якоря. Импульсы, воздействуя на обмотку, вызывают появление в ней затухающего колебательного процесса. Возникновение повреждения приводит к изменению параметров волнового отклика. При проворачивании якоря перемещается угловая координата места повреждения изоляции и изменяются параметры волнового отклика [4, 5].

Для фиксации волнового отклика используется мобильное устройство диагностирования состояния межвитковой изоляции коллекторных электрических машин WRM Tester, выполненное на основе отладочного модуля STM32F746G-DISCO и разработанное на кафедре «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУПС. Программное обеспечение устройства осуществляет подачу прямоугольного импульса, фиксацию волнового отклика, сохранение его на SD-карту в виде мгновенных значений и расчет обобщенного диагностического коэффициента. Устройство содержит схему гальванической развязки и силовой ключ, при этом измерительный канал выполнен с отключаемым делителем напряжения и дифференциальным усилителем, реализованном на микросхеме INA159 Texas Instruments [6, 7]. Устройство

является автономным, имеет аккумуляторную Li-ion батарею с контроллером заряда-разряда.

На основании проведенных исследований с помощью мобильного устройства WRM Tester ранее получены области допустимых значений реализаций волнового отклика, характеризующих работоспособное состояние межвитковой изоляции якорной обмотки ТЭД. При выполнении этих исследований установлено, что целесообразно создание виртуальных эталонов, которые характеризуют исправное состояние изоляции якорной обмотки ТЭД и хранение этих эталонов в энергонезависимой памяти устройства с определением диапазона допустимого изменения параметров математической модели. Таким образом, возникает задача создания математической модели волнового отклика межвитковой изоляции якорной обмотки ТЭД в виде виртуального эталона, что направлено на совершенствование программной части прибора диагностирования состояния межвитковой изоляции якорной обмотки ТЭД подвижного состава.

На рисунке 1 представлена осциллограмма реального сигнала волнового отклика, полученного на якорной обмотке ТЭД после окончания воздействия диагностического импульса. Такой сигнал может быть описан с помощью экспоненциально убывающей по амплитуде гармонической функции. Проведенные исследования показали идентичность формы данного волнового отклика для различных типов ТЭД. Математическое выражение, описывающее представленный волновой отклик, имеет следующий вид:

$$U(t) = U_0 e^{-k_\delta \delta_0 t} \sin(k_\omega \omega_0 t + \alpha), \quad (1)$$

где U_0 – амплитуда волнового отклика, В;

k_δ – коэффициент отклонения декремента затухания;

δ_0 – декремент затухания, 1/с;

k_ω – коэффициент отклонения угловой частоты;

ω_0 – угловая частота, рад/с;

α – начальная фаза, рад.

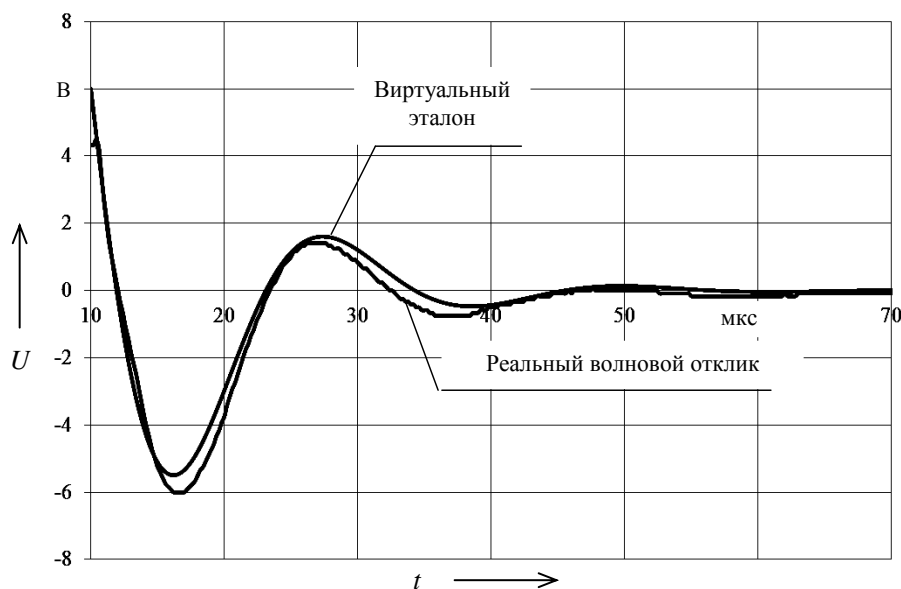


Рисунок 1 – Волновой отклик межвитковой изоляции якорной обмотки тягового электродвигателя ЭК810Ч

В предложенной математической модели имеются два коэффициента, характеризующие степень отклонения некоторой реализации волнового отклика от подобной же реализации, но полученной для виртуального эталона. Коэффициент k_δ представляет собой отклонение декремента затухания колебательного затухающего процесса, а коэффициент k_ω – отклонение угловой частоты, при этом оба коэффициента определяются относительно значений декремента затухания и угловой частоты для исправного состояния межвитковой изоляции якорной обмотки. Расчет указанных коэффициентов осуществляется по следующим математическим выражениям:

$$k_\delta = \frac{\delta}{\delta_0}, \quad (2)$$

$$k_\omega = \frac{\omega}{\omega_0}. \quad (3)$$

На рисунках 2, 3 представлены результаты измерений волнового отклика межвитковой изоляции для различных типов исправных ТЭД подвижного состава железных дорог с поданным диагностическим импульсом на временном интервале 2 ... 22 мкс.

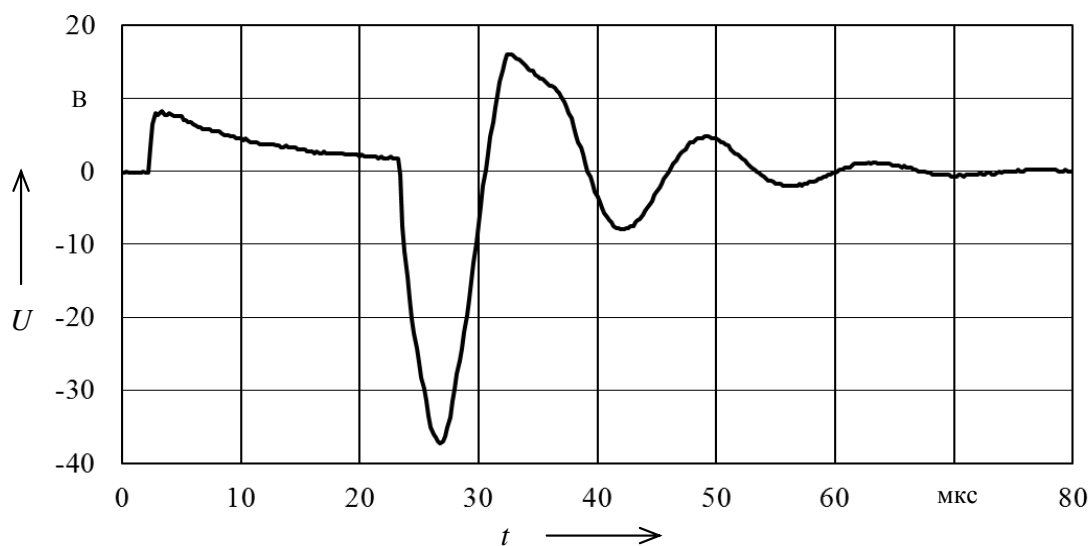


Рисунок 2 – Волновой отклик межвитковой изоляции якорной обмотки электродвигателя ЭД133

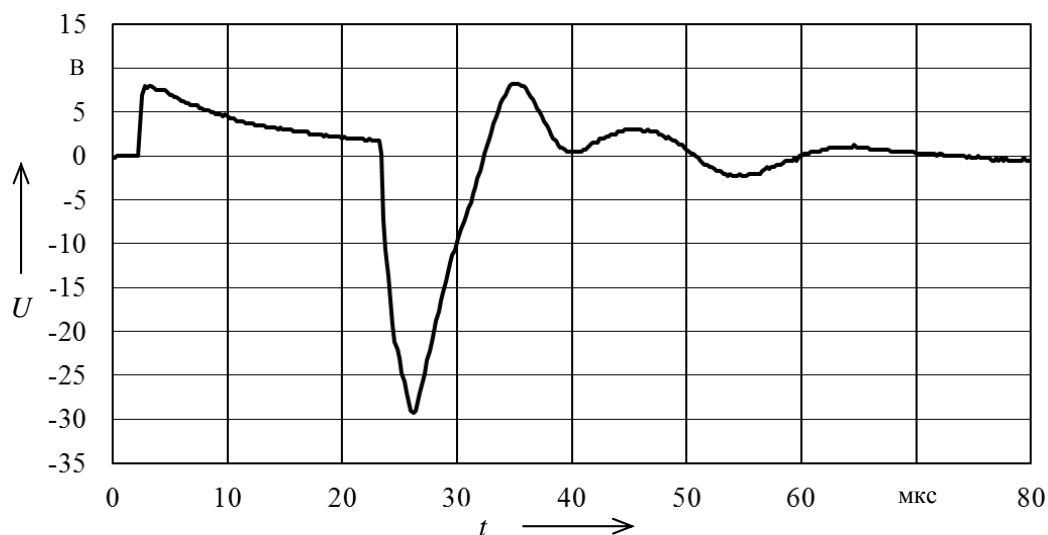


Рисунок 3 – Волновой отклик межвитковой изоляции якорной обмотки электродвигателя ЭД118

Проведенный анализ данных волнового отклика различных ТЭД позволил определить параметры δ_0 , ω_0 виртуальных эталонов волнового отклика, описывающих исправное состояние межвитковой изоляции якорной обмотки ТЭД, а выполненные экспериментальные исследования позволили оценить диапазоны изменения коэффициента отклонения декремента затухания и коэффициента отклонения угловой частоты для анализируемой выборки данных (таблица 1). Для формирования параметров виртуального эталона была использована выборка из 15 ТЭД ЭК810Ч, пяти ТЭД ЭД133 и 16 ТЭД ЭД118; для каждого типа ТЭД сформирован усредненный волновой отклик, причем

отбор реализаций для формирования эталонов производился на основании минимального среднего квадратического отклонения используемых реализаций. Оценка расхождения результата сформированного эталона и реального волнового отклика составила не более 5 %.

Таким образом, на основе анализа реального сигнала волнового отклика, полученного на якорной обмотке ТЭД, сформирован виртуальный эталон волнового отклика для различных типов ТЭД подвижного состава, описывающий исправное состояние межвитковой изоляции якорной обмотки ТЭД. О степени отклонения анализируемой реализации волнового отклика от виртуального эталона предлагается судить по численным значениям коэффициентов отклонения декремента затухания и угловой частоты от этих же параметров, полученных для исправного состояния межвитковой изоляции якорной обмотки. Установлены диапазоны изменения параметров коэффициентов отклонения от виртуального эталона, соответствующего работоспособному состоянию межвитковой изоляции якорной обмотки ТЭД.

Таблица 1

Результаты расчета параметров волнового отклика тяговых электродвигателей

Тип ТЭД \ Параметр	δ_0 , 1/с	k_δ	ω_0 , рад/с	k_ω
ЭД-118	69000	0,78 ... 1,1	532400	0,81 ... 1,12
ЭД-133	91540	0,81 ... 1,05	410000	0,89 ... 1,33
ЭК-810Ч	110000	0,8 ... 1,03	285600	0,84 ... 1,27

Использование виртуальных эталонов при реализации метода волнового отклика в процессе технического обслуживания при диагностировании состояния межвитковой изоляции ТЭД с помощью устройства WRM Tester с использованием виртуальных эталонов обладает рядом особенностей:

- параметры сформированных виртуальных эталонов предназначены для качественной оценки состояния межвитковой изоляции якорной обмотки ТЭД и количественного определения значений параметров волнового отклика;
- накопление статистических данных позволит уточнить параметры виртуального эталона для конкретного типа ТЭД;
- при получении значительного расхождения волнового отклика по форме и параметрам относительно виртуального эталона требуется дальнейшее исследование ТЭД с выявлением причин, вызвавших подобные отклонения:

например, это может произойти по причине попадания смазки на коллектор, связанным с технологическим процессом обслуживания и ремонта, а также с особенностями эксплуатации.

Список литературы

1. Петров, М. Н. Статистический анализ повреждений узлов и оборудования электровазозов на Красноярской дороге / М. Н. Петров, А. И. Орленко, О. А. Терегулов, В. Ю. Емельянов – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 6. – С. 148–149.

2. Исмаилов, Ш. К. Повышение ресурса изоляции обмоток электрических машин подвижного состава в условиях эксплуатации : специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Исмаилов Шафигула Калимуллович ; Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2004. – 43 с. : ил. – Место защиты: Омский государственный университет путей сообщения. – Текст : непосредственный.

3. Харламов, В. В. Оценка технического состояния изоляции тяговых электродвигателей подвижного состава / В. В. Харламов, П. К. Шкодун, И. В. Шестаков. – Текст : непосредственный // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов: материалы второй всероссийской технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2014. – С. 211–222.

4. Шестаков, И. В. Физические основы применения метода волновых откликов для диагностирования состояния межвитковой изоляции якорных обмоток тяговых электродвигателей подвижного состава / И. В. Шестаков. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2016. – № 3(50). С. 106-110.

5. Харламов, В. В. Особенности применения метода волновых откликов при тестировании межвитковой изоляции якорных обмоток тяговых электродвигателей. – Текст : непосредственный / В. В. Харламов, П. К. Шкодун, И. В. Шестаков// Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: материалы научной конференции / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 167–173.

6. Шестаков, И. В. Разработка мобильного устройства для диагностирования состояния межвитковой изоляции якорных обмоток

коллекторных электрических машин / И. В. Шестаков. – Текст : непосредственный // Молодежь третьего тысячелетия : XL региональная студенческая научно-практическая конференция / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2020. – С. 118–121.

7. Звонарев, Е. Драйверы для АЦП на основе ОУ компании Texas Instruments / Е. Звонарев. – Текст : непосредственный // Компоненты и технологии. – 2007. – № 11. – С. 33–38.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Шкодун Павел Константинович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Кандидат техн. наук, доцент кафедры

«Электрические машины и общая

электротехника» ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Shkodun Pavel Konstantinovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx av., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Cand. Tech. Sci. Associate Professor of the
department «Electrical machines and general
electrical engineering», OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-18-27.

E-mail: emoe@omgups.ru.

УДК 621.941.1

А. В. Обрывалин, К. В. Аверков, А. А. Меновщикова

Омский государственный университет путей и сообщения (ОмГУПС),

г. Омск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ПЕРЕНОСНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОБТОЧКИ КОЛЕСНЫХ ПАР БЕЗ ИХ ВЫКАТКИ ИЗ ПОД ЛОКОМАТИВА

В статье рассматривается вопрос токарной обработки поверхности катания колесных пар локомотивов без выкатки. Сделан критический анализ существующего на сегодняшний день оборудования для обточки. Предложен новый мобильный станок для обточки колесных пар, оснащенный специальным копиром.

Ключевые слова: токарный станок, точение, резец, копир, мобильность, резец.

DEVELOPMENT OF A PORTABLE DEVICE FOR TURNING WHEEL PAIRS WITHOUT ROLLING THEM OUT FROM UNDER THE LOCOMOTIVE

The article deals with the issue of turning the rolling surface of locomotive wheel pairs without rolling out. A critical analysis of the current equipment for turning is made. A new mobile machine for turning wheel pairs, equipped with a special copier, is proposed.

Keywords: lathe, turning, cutter, copier, mobility, cutter.

Одним из самых ответственных узлов тягового подвижного состава (ТПС) являются колесные пары от состояния, которых зависит безопасность движения поездов. В процессе эксплуатации ТПС наблюдается интенсивный износ гребней колес колесных пар [1, 2]. Для восстановления профиля катания колес в системе планово-предупредительного ремонта тягового подвижного состава предусмотрено проведение технического обслуживания в объеме ТО-4. Своевременная обточка колёсных пар локомотивов и приведение их в соответствие с требованиями инструкций необходимы во избежание разрушений бандажа и головки рельса, а также для предотвращения чрезвычайных происшествий на территории предприятия или на путях общего пользования.

На сегодняшний день механическую обработку бандажей колесных пар без их выкатки из-под локомотива выполняют на подрельсовых колесотокарных станках типа А-41.01 или колесофрезерных станках типа КЖ-20 (рисунок 1) [3, 4, 5], а также наметилась устойчивая тенденция применения мобильных станков для обточки колесных пар типа 1АК200, WTL8100 (рисунок 2).

Применение станков типа А-41.01 и КЖ-20 предусматривает наличие в цехе канавы, кроме этого монтаж станков представляет собой сложный трудоемкий процесс, который подразумевает: подготовку фундамента, установку оборудования, обвязку основными и вспомогательными системами (электрическими, пневматическими и гидравлическими). Выполнение обточки бандажей на подрельсовых станках предполагает большие объемы маневровых работ по постановке и выводу секции локомотива с технологической позиции.

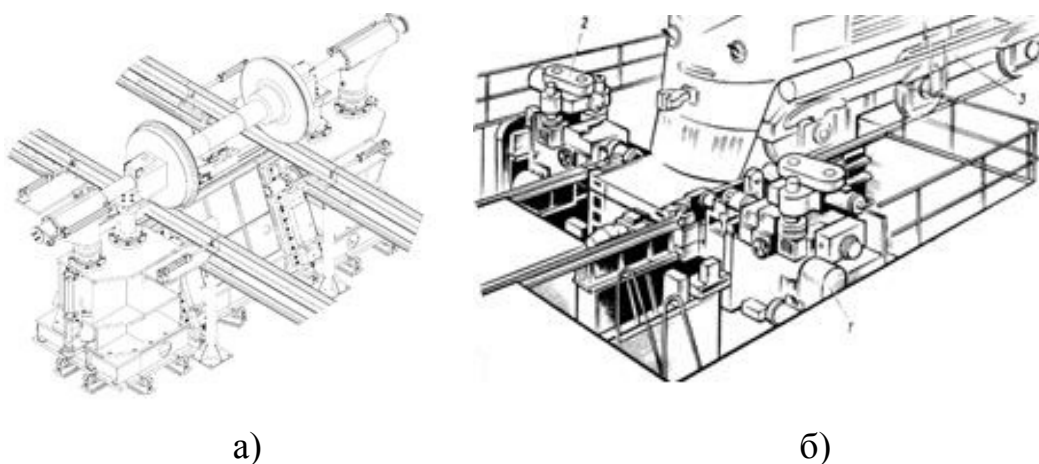


Рисунок 1 – Технологическое оборудование для обточки колесных пар без их выкатки из-под локомотива:

а) колесотокарный станок А-41.01; б) колесофрезерный станок КЖ-20

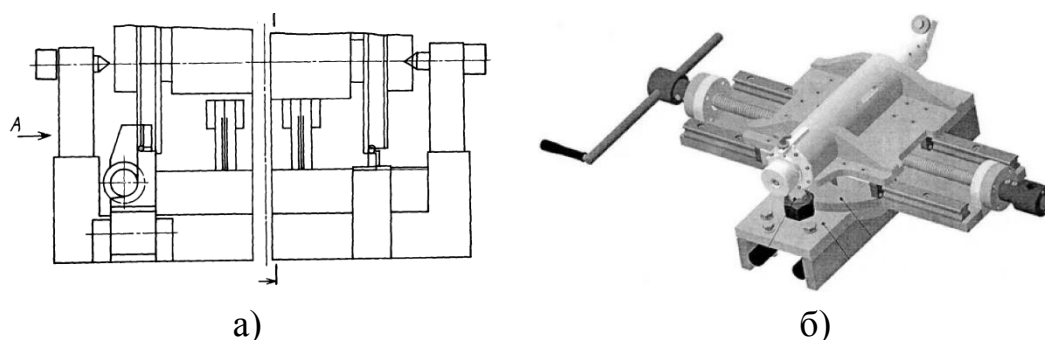


Рисунок 2 – Мобильные станки для обточки колесных пар без выкатки:

а) мобильный станок 1AK200; б) мобильный станок WTL8100

В настоящее время наметилась тенденция использования мобильных станков с системой числового программного управления (ЧПУ) [6. 7], хотя это не всегда оправдано, так как системам ЧПУ предъявляются высокие требования в эксплуатации, в противном случае наблюдаются сбой в работе, что негативно отражается на точности механической обработки профиля катания бандажа. Кроме этого, наличие системы ЧПУ значительно удорожает технологическое оборудование и повышает затраты на его эксплуатацию и ремонт. В связи с чем, возникает задача разработать устройство, которое с одной стороны обеспечивало бы качество восстановления профиля катания колеса, а с другой было просто в эксплуатации, отличалось бы относительной дешевизной от аналогов без потери функциональной надежности.

Для решения данной задачи на кафедре «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», разработано

специализированное переносное устройство для обточки колес локомотива.

Переносное устройство для обточки колес без выкатки колесных пар из-под локомотива (рисунок 3) состоит из двух суппортов 1, соединенных между собой захватно-зажимным приспособлением 5 и монтируемых на рельс 2. Суппорты включают каретки продольного и поперечного перемещения и обеспечивают движения подач двух резцовых блоков 4 (резцы с чашечной твердосплавной пластиной) при помощи шарико-винтовых передач кареток для обточки левого и правого бандажей колес 3 локомотива. Точность и правильность обработки профиля поверхности катания колеса обеспечивается наличием в конструкции суппорта копира, позволяющего обработать профиль поверхности катания колес согласно требуемым параметрам в соответствии с инструкцией №ЦТ-329. Колесно-моторный блок при этом вывешивается на домкратах, суппорты 1 монтируются на головку рельса 2, колесная пара приводится во вращение посредством тягового электродвигателя локомотива, резцовый блок 4 с чашечной пластиной выставляется в исходную точку с учетом установленной глубины резания и выполняется механическая обработка профиля поверхности катания колес 3 по копиру.

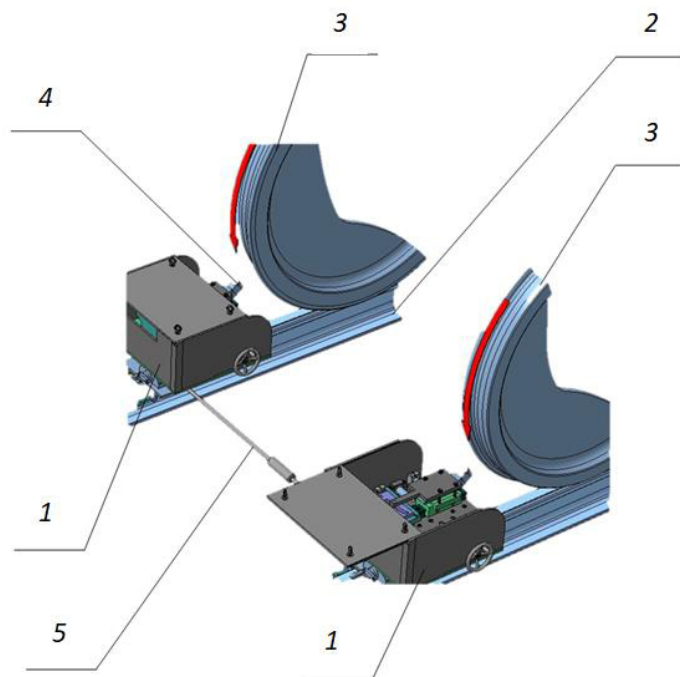


Рисунок 3 – 3D модель переносного устройства для обтачивания колес:

1 – суппорт; 2 – рельсы; 3 – колесная пара; 4 – резец; 5 – захватно-зажимное приспособление

Каретки продольного и поперечного перемещения резцового блока 5 с чашечной твердосплавной пластиной 4, установленного на опорной плите 6,

размещаются в корпусе 1 суппорта (рисунок 4). Вращение маховика 2 обеспечивает движение продольной подачи резцового блока 4 относительно обрабатываемой поверхности колеса за счет действия шарико-винтовой передачи верхней каретки поперечной подачи. При этом шарнирный палец 8, кинематически связывающий резцовый блок 4 с копиром 7, скользит по фигурному пазу копира, воспроизводя траекторию движения на обрабатываемой поверхности с целью достижения требуемой точности и правильности профиля колеса. Для задания глубины резания и установки резцового блока 4 в исходную точку используется маховик 3 перемещения нижней каретки поперечной подачи, приводимой в движение при помощи шарико-винтовой передачи. Тяга 9 захватно-зажимного приспособления соединяет суппорты устройства между собой и предназначается для закрепления устройства на головках рельсов.

Техническим результатом разработанного устройства является обеспечение точности обработки и правильности профиля поверхности катания колеса колесной пары локомотива за счет введения в его конструкцию высокоточного копира.

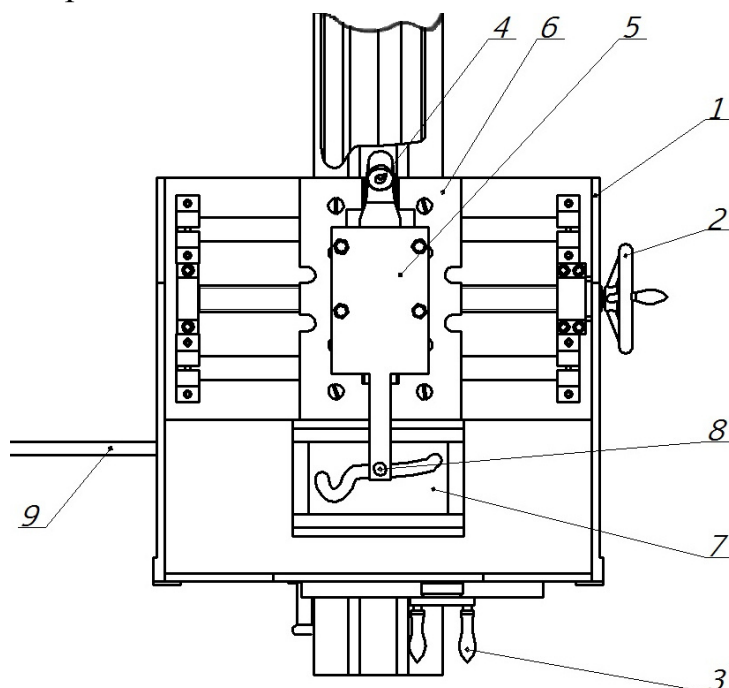


Рисунок 4 – Фрагмент сборочного чертежа переносного устройства для обтачивания колес:

- 1– корпус суппорта; 2,3 – маховик; 4 – чашечная твердосплавная пластина;
 5 – резцовый блок; 6 – опорная плита; 7 – копир; 8 – шарнирный палец;
 9 – захватно-зажимное приспособление

Применение спроектированного переносного устройства для обточка колес без их выкатки из-под локомотива позволяет сократить объемы маневровых работ, тем самым повысив производительность процесса ремонта. В частности, достигнуты относительно малые габаритные размеры станка, простота в эксплуатации, при сохранении точности и качества обрабатываемых поверхностей.

Список литературы

1. Подвижной состав железных дорог. Т. 4 / П. С. Анисимов, В. А. Винокуров, В. И. Воробьев, А. А. Галенко. – Москва : Машиностроение, 2008 – 656 с. – Текст : непосредственный.
2. Основы механики подвижного состава : учебное пособие. Ч.1 / И. И. Галиев, В. А. Нехаев, В. А. Николаев, В. Н. Ушак. – Омск : Омский гос. ун-т путей сообщения, 2013 – 202 с. – Текст : непосредственный.
3. Будюкин, А. М. Процессы механической и физико-технической обработки: учебное пособие / А. М. Будюкин, А. Ф. Богданов, В. Г. Кондратенко. – Санкт-Петербург : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2018 – 100 с. – Текст : непосредственный.
4. Мойкин, Д. А. Производство и ремонт подвижного состава : учебное пособие / Д. А. Мойкин. – Санкт-Петербург : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2018. – 54 с. – Текст : непосредственный.
5. Даровской, Г. В. Технология производства и ремонта подвижного состава. Технология ремонта грузовых вагонов : учебное пособие / Г. В. Даровской. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2019. – 364 с. – Текст : непосредственный.
6. Коркина, С. В. Подвижной состав железных дорог (нетяговый подвижной состав) : учебное пособие / С. В. Коркина, А. В. Клюканов, Г. Г. Киселев. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2017 – 180 с. – Текст : непосредственный.
7. Подвижной состав железных дорог : учебное пособие / составитель С. В. Коркина. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2018. – 85 с. – Текст : непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Обрывалин Алексей Викторович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
К.т.н., и. о. заведующего кафедрой
«Технологии транспортного
машиностроения и ремонта подвижного
состава» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-06-18.
E-mail: av.obr@yandex.ru.

Аверков Константин Васильевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доцент кафедры ТТМиРПС
Кандидат технических наук
Тел.: +7 (3812) 31-06-18
E-mail: averok@yandex.ru

Меновщикова Ангелина Александровна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Студентка Институт наземных транспортных систем ОмГУПС.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Obryvalin Alexey Viktorovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Technical Sciences,
The acting head of the Department
«Technology of transport engineering
and rolling stock repair» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-06-18.
E-mail: av.obr@yandex.ru.

Averkov Konstantin Vasilyevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Associate Professor of Tmics
Candidate of technical Sciences
Phone: +7 (3812) 31-06-18
E-mail: averok@yandex.ru

Menovshchikova Angelina Aleksandrovna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Student at the Institute of Land Transport Systems OSTU.

УДК 629.421.4: 629.4.004.67

В. В. Асабин, Л. С. Курманова, С. А. Петухов, П. В. Летягин

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС),
г. Самара, Российская Федерация

УЛУЧШЕНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

В статье предложен новый способ улучшения теплового состояния дизелей тепловозов при любых эксплуатационных условиях и режимах работы на основе термоэлектрических модулей.

Ключевые слова: дизель, тепловоз, термоэлектрический модуль, тепловой баланс.

IMPROVING THE THERMAL CONDITION OF DIESEL LOCOMOTIVES BY USING THERMOELECTRIC MODULES

The article offers a new method for improving the thermal state of diesel locomotives under any operating conditions and operating modes based on thermoelectric modules.

Keywords: diesel, diesel locomotive, thermoelectric module, heat balance.

Главным условием обеспечения экономичности, безотказности и ресурсных показателей тепловозных дизелей является их оптимальное тепловое состояние, характеризующееся степенью нагрева деталей цилиндропоршневой группы, которое зависит от интенсивности и качества управления тепловыми процессами. Оптимальное тепловое состояние дизеля должно поддерживаться при любых эксплуатационных условиях и режимах работы. Это состояние обеспечивается, главным образом системой охлаждения, которая отводит теплоту от деталей, подверженных тепловым нагрузкам. Потери тепла за счёт охлаждения деталей водой и маслом достигают 27%. Другой, существенной потерей является унос около 32% тепла с отработавшими газами. Кроме того, топливо в цилиндрах сгорает не полностью, имеются потери топлива в окружающую среду и т.д. Суммируя все потери, то окажется, что в рассматриваемом балансе дизеля бесполезно расходуется около 64% тепловой энергии дизельного топлива, а на полезную работу используется только 36% (рисунок 1.) [1].

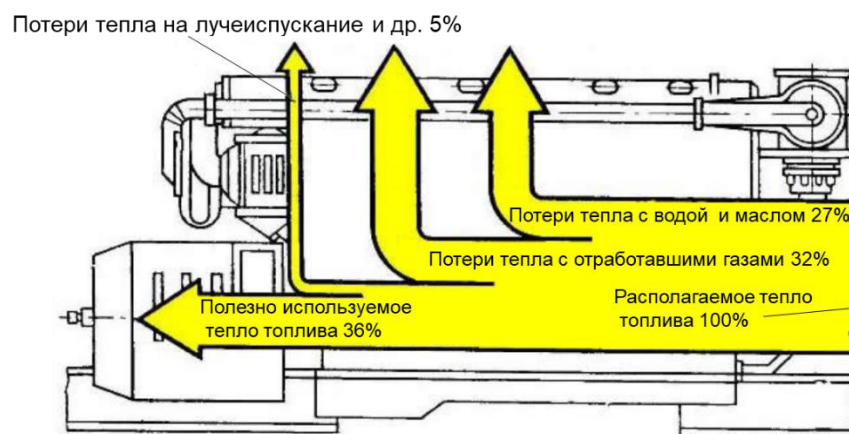


Рисунок 1 – Тепловой баланс тепловозного среднеоборотного дизеля

Актуальной задачей по повышению энергетической эффективности автономных локомотивов является снижение потери энергии, но не в ущерб надежности дизелей.

Для каждого двигателя существует наилучшее тепловое состояние, которое обеспечивает наибольшую экономичность на всех режимах его работы. Для поддержания этого теплового состояния требуется автоматическое управление системой охлаждения, определяющим параметром которого является температура охлаждающей воды.

Поддержание температуры деталей на требуемом уровне возможно при соответствующем выборе правильной организации рабочего процесса, оптимальной конструкции цилиндропоршневой группы и рациональной системы охлаждения, качественного регулирования тепловым состоянием дизеля [2].

Термоэлектрические модули (ТМ) широко используются в качестве измерителей плотности теплового потока, для измерения и контроля тепловых режимов двигателей [3].

Особенность ТМ - универсальность, т.е. применять его можно как в режиме нагревателя, так и в режиме охладителя (эффект Зеебека). Переход с режима охлаждения на режим нагрева осуществляется путем изменения направления постоянного тока. В этом случае холодные спаи нагреваются, а горячие - охлаждаются.

Эффект Зеебека представляет собой термоэлектрический эффект, сущность которого заключается в том, что при нагреве контакта (спая) двух разнородных металлов или полупроводников (термопары) возникает термоэлектрическая электродвижущая сила (термоЭДС). Напряжение термоЭДС прямо пропорционально коэффициенту Зеебека и разнице температур ΔT между горячей T_h и холодной T_c сторонами (спаями) термоэлектрического модуля (рисунок 2) [4].

Изображенная на рисунке 2 конструкция термопары состоит из разнородных полупроводниковых термоэлементов n- и p-типа, которые соединены между собой на одной стороне, другие два свободных конца подключены к нагрузке R_n . Если температура места контакта отлична от температуры свободных концов, то по такой цепи пойдет ток, а на нагрузке будет выделяться полезная мощность. Для увеличения получаемых электрической мощности и напряжения термопары соединяют

последовательно, при этом они образуют термобатарею, или термоэлектрический модуль, графическое изображение которого представлено на рисунке 3.

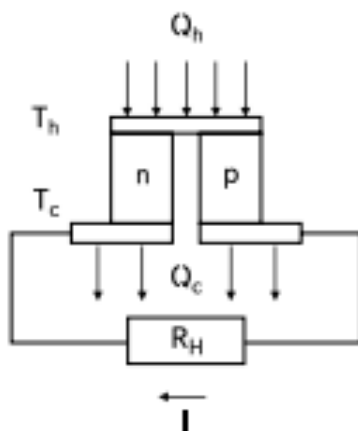


Рисунок 2 – Схема конструкции термопары по эффекту Зеебека (на примере слая полупроводниковых термоэлементов n- и p-типа)



Рисунок 3 – Термоэлектрический модуль в разрезе

Для обеспечения работы дизеля тепловоза, количество тепловой энергии, отбираемой ТМ от системы охлаждения должна быть не меньше, чем теплоотдача штатной системы охлаждения, чему может, дополнительно, способствовать прямое преобразование части теплоты в электрическую энергию в ТМ.

На рисунке 4 представлен ТМ ленточного исполнения.

ТМ может работать в режиме теплового насоса, когда после остановки дизеля тепловоза температура воды в системе охлаждения равна температуре окружающей среды. Низкая температура в холодное время требует длительного переходного процесса по прогреву дизеля до рабочей температуры, также будет

чрезмерно расходоваться дизельное топливо и интенсивно изнашиваться не прогретые до своих рабочих допусков детали цилиндропоршневой группы [5]. Включение ТМ, как теплового насоса для прогрева охлаждающей жидкости в системе охлаждения дизеля позволит эффективно довести температуру до рабочей с наименьшими энергетическими потерями. Необходимо отметить, что работа ТМ в режиме теплового насоса даже при низкой температуре окружающей среды является более энергоэффективным, чем режим электронагревателя, а также чем прогрев дизеля на работающем тепловозе. Из дополнительных преимуществ данного режима является получение рабочей температуры в системе охлаждения тепловоза при нахождении его в отстое или в режиме ожидания работы, а затем осуществление его запуска. Такой подход значительно уменьшит износ деталей цилиндропоршневой группы.

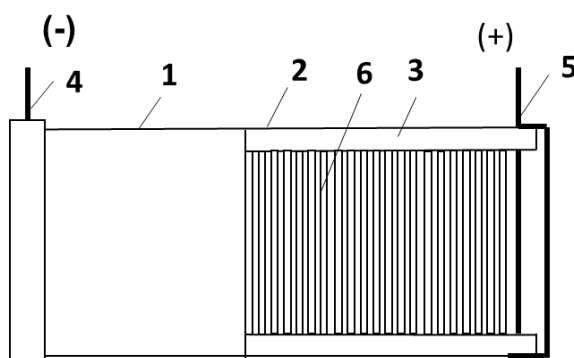


Рисунок 4 – Термоэлектрический модуль ленточного исполнения:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – днище; 4, 5 – полюса; 6 – термоэлектрическая батарея

В режиме термоэлектрического генератора после запуска дизеля при работе его в заданном температурном диапазоне в ТМ возникает термоЭДС за счет градиента температур между окружающей средой и охлаждающей жидкостью. Полученная электрическая энергия позволяет рекуперировать часть тепловых потерь и подзарядить аккумуляторную батарею, частично скомпенсировав потери электрической энергии на начальный прогрев охлаждающей жидкости перед запуском дизеля. Чем больше градиент температур между окружающей средой и охлаждающей жидкостью, тем эффективнее работа ТМ в режиме термоэлектрического генератора.

В режиме интенсификации охлаждения работа дизеля тепловоза под нагрузкой требует отвода больших тепловых мощностей в окружающую среду. В этом режиме ТМ потребляет электрическую энергию от генератора или аккумулятора, интенсифицируя теплоперенос от охлаждающей жидкости в

охлаждающую среду. Ток пропускается таким образом, чтобы охлаждающие спаи находились в тепловом контакте с охлаждающей жидкостью, а нагретые спаи обдувались вентилятором. Применение ТМ в данном режиме позволяет получить температуру охлаждающей жидкости ниже температуры окружающей среды. Дополнительным преимуществом является повышение эффективности теплообмена с окружающей средой за счет значительного повышения температуры горячих спаев. Градиент температур между охлаждающей жидкостью и окружающей средой при традиционном охлаждении значительно меньше градиента температур между горячим спаем и окружающей средой. Теплоотдача в окружающую среду от секций радиатора прямо пропорциональна градиенту температур.

Алгоритм работы ТМ установленного в системе охлаждения дизеля тепловоза показан на рисунке 5.

Требования, предъявляемые к ТМ в системе охлаждения дизелей тепловозов: должны быть компактными, аккумулировать большую часть подведенного к нему тепла, обладать необходимой механической прочностью и химической стойкостью в условиях большого градиента температур в течение длительного времени, выдерживать удары, вибрацию и перегрузку.

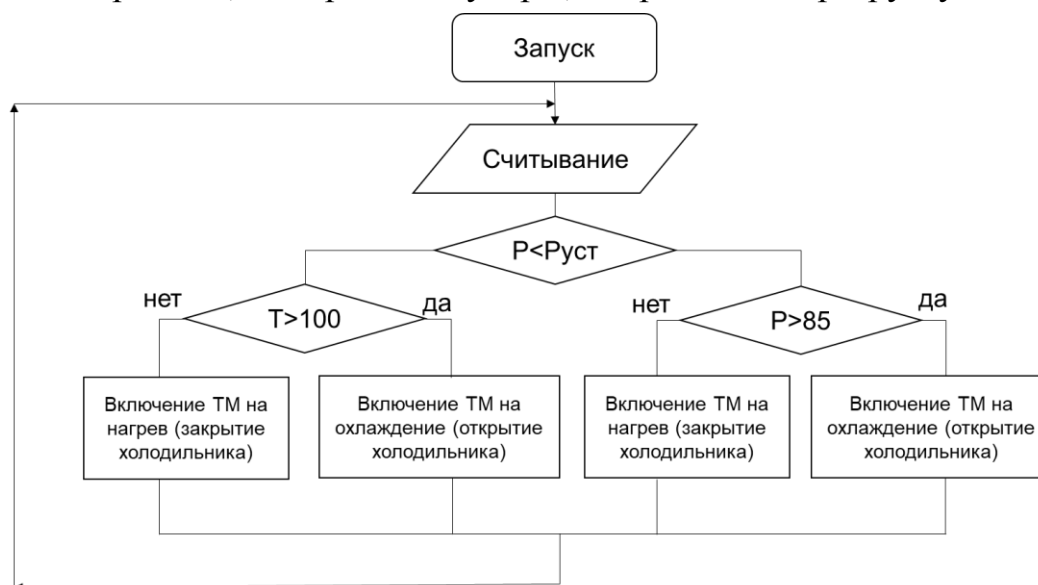


Рисунок 5 – Алгоритм работы термоэлектрического модуля

Применение ТМ в конструкции дизелей тепловозов позволит повысить их ресурс, поддерживая эксплуатацию лимитирующих деталей в заданном температурном диапазоне, а также уменьшить потери тепловой энергии дизеля в целом за счет рекуперирования части тепловой энергии, что позволит снизить

потребление топлива и уменьшить отрицательное техногенное воздействие вредных выбросов с отработавшими газами на окружающую среду.

Список литературы

1. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания : учебник для вузов / А. Э. Симсон [и др.]. – 2-е изд., переаб. и доп. – Москва : Транспорт, 1987. – 536. – Текст : непосредственный.
2. Ресурсосбережение и энергоэффективность тепловозных двигателей : монография / С. А. Петухов, В. Е. Лазарев, В. В. Асабин [и др.]. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2020. – 138 с. – Текст : непосредственный.
3. Регель, А. Р. Термоэлектрические генераторы / А. Р. Регель. – Москва: Атомиздат, 1976. – 314 с. – Текст : непосредственный.
4. Шостаковский, П. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания / П. Шостаковский. – Текст : непосредственный // Компоненты и технологии. – 201. – № 12. – С. 131-138.
5. Петухов, С. А. Снижение трения как форма энергосбережения локомотивной энергетической установки / С. А. Петухов, Л. С. Курманова. – Текст : непосредственный // Транспорт: Наука, образование, производство : сборник научных трудов. – 2018. – С. 156-159.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Асабин Виталий Викторович

Самарский государственный университет
путей сообщения (СамГУПС).
ул. Свободы, 2 В, г. Самара, 443066,
Российская Федерация.
Первый проректор.
E-mail: v.asabin@samgups.ru

Курманова Лейла Салимовна

Самарский государственный университет
путей сообщения (СамГУПС).
ул. Свободы, 2 В, г. Самара, 443066,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, начальник
отдела интеллектуальной собственности.
E-mail: leyla_kurmanova@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Asabin Vitaly Viktorovich

Samara State Transport University (SSTU),
2 V Svoboda str., 443066, Samara,
the Russian Federation.
First Vice-rector.
E-mail: v.asabin@samgups.ru

Kurmanova Leila Salimovna

Samara State Transport University (SSTU),
2 V Svoboda str., 443066 Samara,
the Russian Federation.
Candidate in Engineering, head of intellectual
property Department.
E-mail: leyla_kurmanova@mail.ru

Петухов Сергей Александрович

Самарский государственный университет
путей сообщения (СамГУПС).
ул. Свободы, 2 В, г. Самара, 443066,
Российская Федерация.
Доцент кафедры «Локомотивы» СамГУПС.
E-mail: sakmara-cite@mail.ru

Летягин Павел Викторович

Самарский государственный университет
путей сообщения (СамГУПС).
ул. Свободы, 2 В, г. Самара, 443066,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Локомотивы»
СамГУПС.
E-mail: loony13@bk.ru.

Petuhov Sergei Aleksandrovich

Samara State Transport University (SSTU),
2 V Svoboda str., 443066, Samara,
the Russian Federation.
Candidate in Engineering, Candidate, Candidate of
the department «Locomotives» SSTU.
E-mail: sakmara-cite@mail.ru

Letyagin Pavel Viktorovich

Samara State Transport University (SSTU),
2 V Svoboda str., 443066, Samara,
the Russian Federation.
Postgraduate student of the Department "
Locomotives».
E-mail: loony13@bk.ru .

«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПОЕЗДОВ»

УДК 629.4

И. И. Галиев¹, Д. Ю. Лукс²

¹Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация,

²Управление вагонного хозяйства Центральной дирекции инфраструктуры –
филиала ОАО «РЖД», Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ МАССЫ СОЕДИНЕННЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ

Железнодорожному транспорту отводится важнейшая роль в развитии и обеспечении функционирования экономики России. В его задачи входит своевременное, качественное и полное удовлетворение потребностей промышленности, сельского хозяйства и населения в перевозках. По мере развития экономики страны увеличивается объем перевозимых грузов, а значит, возникает потребность в повышении пропускной и провозной способности железных дорог.

Ключевые слова: грузовые поезда, перевозки, провозная способность, вагонное хозяйство.

Ilzam I. Galiev¹, Dmitry Y. Luks²

¹Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation,

²Central Directorate of Infrastructure – a branch of Russian Railways, the Russian Federation

INCREASE IN WEIGHT OF CONNECTED FREIGHT TRAINS AND EFFICIENCY OF LOCOMOTIVE USE

Railway transport plays a major role in the development and maintenance of the Russian economy. Its tasks include timely, high-quality and full satisfaction of the needs of industry, agriculture and the population in transportation. As the country's economy develops, the volume of transported goods increases, which means that there is a need to increase the throughput and carrying capacity of railways.

Keywords: freight trains, transportation, carrying capacity, carriage facilities.

При освоении растущего объема перевозок и достижений уровня грузонапряженности около 100 млн. ткм/км на важнейших

электрофицированных направлениях сети дорог возник дисбаланс между необходимым объемом перевозок и провозной способностью железных дорог из-за ограничений на отдельных участках инфраструктуры.

При решении вопроса унификации массы и длины грузовых поездов учитывается, что с их повышением, как правило, снижаются эксплуатационные расходы благодаря повышению производительности локомотива, но больше средств требуется для удлинения станционных путей, усиления тягового электроснабжения и других элементов инфраструктуры железных дорог.

Конструкция грузовых вагонов позволяет осуществлять их эксплуатацию в тяжеловесных поездах, т.к. начиная с 1983 г они проектируются и изготавливаются с учетом использования в поездах массой до 10 000 т согласно «Нормам для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)». Однако, с более интенсивной работой возникает вероятность возникновения неисправностей вагона при следовании поезда по участку, что может привести к серьезным осложнениям в поездной работе.

Для безаварийного проследования вагонов повышенной массы через гарантийные участки необходимо определить уровень восстановления их работоспособности, где основными показателями являются вероятность возникновения отказов, среднее время восстановления, средние затраты на восстановление работоспособности вагонов на ПТО.

Проведенные расчеты ОАО «ВНИИЖТ» позволяют установить мероприятия по совершенствованию организации работы ПТО в связи с пропуском тяжеловесных поездов. В частности, определяются меры по установлению рациональных затрат труда на подготовку в рейс составов повышенной массы, по обеспечению восстановления работоспособности вагонов в составах безотказного следования поездов по участкам, а так же необходимая продолжительность обработки длинносоставных поездов при заданной численности комплексных бригад. Кроме того, определяются меры по подготовке к обращению поездов повышенной массы, требующие усиления технической оснащенности инфраструктуры вагонного хозяйства в целом.

Сегодня в эксплуатации находятся грузовые вагоны, имеющие в экипажной части усовершенствованные узлы и детали. Отличительным свойством данных вагонов и вагонов нового поколения является использование узлов и деталей с повышенной работоспособностью в эксплуатации. Применяются тележки с усиленными боковыми рамами Barber S-2-R, диски колесных пар с повышенной твердостью металла, кассетные подшипники производства SKF Group и ООО «ЕПК – Бренко Подшипниковая компания» и др., безрезьбовое соединение труб

воздухопровода в автотормозном оборудовании вагонов и потележечное торможение производства ОАО «Ритм» и ОАО «МТЗ» и др.

Помимо массово применяемой тележки 18-100, сегодня же в эксплуатации находятся вагоны новых моделей с тележками, имеющие отличие в конструкции от тележки 18-100, к ним относятся тележки типа: Barber S-2-R моделей 18-9810 и 18-9855 (производства ЗАО «Тихвинский ВСЗ»), «Мошна Контрол» модели 18-9836 (производства ЗАО «Промтрактор-Вагон»), модели 18-9800 (разработка ОАО «ВНИКТИ»), модели 18-194-01 (производства ОАО «НПК «Уралвагонзавод»).

Принципиально важным для перспективных условий эксплуатации является использование возможностей габарита Тпр при разработке перспективных грузовых вагонов для перевозки, прежде всего, угля. В этом случае может быть реализована осевая нагрузка в 25 т/ось с допустимой погонной нагрузкой 9.5 т/м.

Введение в обращение грузовых поездов, длина которых превышает длину станционных путей, в первую очередь приводит к необходимости организации их безостановочного пропуска или специальных маневров и переформирования на промежуточных станциях.

Часто на участках со сложным планом и профилем пути требуется усиленное обеспечение поездов повышенной массы и длины (далее поездов ПМД), которое может включать использование распределенных по длине поезда локомотивов, подталкивание на подъемах, технические средства синхронизации тяговых и тормозных процессов в таких поездах, использование специальных устройств для повышения безопасности движения.

Проблема повышения массы поезда всегда связана с решением двуединой задачи – наиболее полного использования длины станционных путей и мощности (силы тяги) локомотива. При увеличении диапазона изменения масс поездов актуальность решения этих вопросов увеличивается.

В течение длительного времени увеличение массы поездов осуществлялось преимущественно за счет увеличения «загруженности» локомотивов и не сопровождалось соответствующим повышением их тяговых возможностей, что приводило к предельному использованию локомотивов по силе тяги на наиболее грузонапряженных линиях

Предельный уровень сцепного веса локомотивов затрудняет, а в большинстве случаев и полностью исключает возможность компенсации отклонений режима движения поезда от расчетного.

Работа на пределе использования силы тяги по сцеплению на тяжелых

элементах профиля, когда режим движения поезда не соответствует расчетному, повышается риск возможности отказов оборудования локомотивов и, прежде всего, узлов колесно-моторного блока (тяговых двигателей, редукторных блоков, и колесных пар), приводит к усиленному износу и повреждениям поверхности катания рельсов, засорению балластного слоя песком, остановкам поездов на перегонах. В результате этого потери провозной и пропускной способности во многих случаях оказываются большими, чем кажущийся выигрыш от предельного использования тягового подвижного состава.

При пуске в постоянную эксплуатацию поездов повышенного веса на участках реализации режимов тяги и торможения происходит увеличение продольных сил в поезде растягивающего и сжимающего характера. Это приводит к росту боковых сил, передаваемых от колес вагонов и локомотивов на путь, особенно в кривых участках, а также к увеличению продольных сил, действующих на пути. Это участки подъемов и спусков, а также участки набора скоростей при выходе со станций и снижения скоростей при входе на станции.

Важнейшим условием обеспечения стабильности пути на участках обращения тяжеловесных поездов будет приведение возвышения наружных нитей кривых в соответствие с реализуемыми фактическими скоростями движения грузовых поездов.

Особо сложная проблема по конструкции пути имеет место на участках с кривыми радиусом менее 450 м, расположенных на подъемах и спусках, где поезда будут идти в режиме тяги или торможения с использованием песка. Исследования, проведенные ВНИИЖТ непосредственно на этих участках в кривых малого радиуса показали, что стабильность ширины колеи на деревянных шпалах не может быть обеспечена, поскольку ее упругое уширение непосредственно под поездом превышает 10 мм с отжимом, как наружной, так и внутренней нитке кривой.

Для таких локальных участков должна быть разработана специальная конструкция креплений, по-видимому, с применением дорогостоящих специальных материалов, обеспечивающая стабильную ширину колеи 1535 мм в круговой кривой и ее регулировку, включая устройство отводов в переходных кривых и повышенное сопротивление поперечному смещению шпал по балласту. Для этих же локальных участков необходимо будет использовать рельсы с повышенной износостойкостью.

Для обеспечения эффективности машинной выправки пути на локальных участках, где применяется песок в режиме тяги или торможения, следует использовать для его уборки специальные вакуумные машины. Такие машины

выпускаются Калужским заводом «Ремпутьмаш» и в настоящее время используются в основном для содержания тоннелей. Необходимо разработать технологию и проверить ее на практике применения этих машин для периодического удаления песка из пути, оценить при этом эффективность последующих машинных выправок пути и при необходимости внести изменения в конструкцию вакуумных и выправочных машин, определить их потребность, а также периодичность глубокой очистки щебня на этих участках с учетом вакуумной уборки из верхнего строения пути засорителей снижающих характеристики балластного слоя.

Экспертная оценка результатов эксплуатации грузовых поездов повышенной массы на ряде железных дорог свидетельствует, что расходы на текущее содержание пути и постоянных устройств при этом возрастают на 5 - 10 %. Если доля тяжеловесных поездов повышенной массы и длины составляет в перевозочном процессе менее 10%, то рост расходов на содержание пути и постоянных устройств составляет 5 %, если 20% - то она возрастает до 10 %.

Система тягового электроснабжения должна обеспечивать устойчивую работу электроподвижного состава при заданных размерах движения и допустимого в эксплуатации количества поездов на одном участке.

Организация движения поездов ПМД и мероприятия по подготовке системы тягового электроснабжения к их регулярному пропуску осуществляются в соответствии с Инструкцией по организации обращения грузовых поездов повышенного веса и длины на железных дорогах Российской Федерации (№ЦД-ЦТ-851, утв. МПС РФ 12.08.2001г.). Готовность устройств электроснабжения к пропуску поездов ПМД определяется на основе сопоставления параметров рабочих режимов системы с нормируемыми показателями нагрузочной способности по:

- уровню напряжения на токоприёмниках электровозов;
- допустимым температурам нагрева проводов тяговой сети;
- мощности силового оборудования тяговых подстанций.

Необходимое усиление системы тягового электроснабжения выбирается с учётом перечисленных выше требований на основе результатов электрических расчётов с помощью компьютерных программ, реализующих моделирование графиков движения поездов различных категорий.

Токовая нагрузка от поездов ПМД и других поездов определяется тяговыми расчётами и уточняется в ходе опытных поездок. Результаты тяговых расчётов должны отражать специфику вождения поездов повышенного веса с учётом ограничений на максимальную силу тяги и торможения, реальной длины состава,

рационального использования инерции поезда, прохождения мест ограничения скорости на частичных ходовых позициях и др. факторов, позволяющих избежать необоснованного завышения потребляемой локомотивами мощности.

Методика определения степени готовности технических средств и рекомендации по выбору способов усиления устройств электроснабжения использованы, в частности, при подготовке хозяйства электроснабжения к пропуску поездов ПМД на направлении Кузбасс - Северо-запад.

Организация движения длинносоставных и тяжеловесных поездов, прежде всего, должна рассматриваться как один из возможных способов увеличения пропускной и провозной способности железнодорожных направлений. С целью адекватной оценки существующего состояния этого вопроса на рассматриваемом направлении был произведен анализ реального поездопотока на основе выборочного обследования за первую неделю июня 2005г. Количество грузовых и пассажирских поездов сопоставлялось с пропускной способностью по каждому участку. Были выполнены расчеты провозной способности, резервы и сроки исчерпания пропускной способности для возможных вариантов организации движения длинносоставных и тяжеловесных поездов, включая повышение нагрузки тяжелых грузов до 25 тонн на ось.

Среди рассмотренных вариантов увеличение провозной способности весьма перспективным и эффективным мероприятием является повышение нагрузки до 25 тонн на ось в сочетании с поездами весом 6 тыс. тонн. Реализация этого мероприятия позволила бы снизить протяженность «узких» мест при 7% темпе роста с 67,6% до 24,6%, и увеличить их резерв пропускной способности.

Организация движения поездов повышенного веса (8-9 тыс.тонн) позволяет снизить долю протяженности «узких» мест до 4-5%. Весьма перспективным мероприятием является также организация движения соединенных поездов (12 тыс.т). Резервы пропускной способности при этом увеличиваются на 25-30 поездов.

Практическая реализация повышения провозной способности на сети железных дорог основывается на следующих составляющих: научном, технико-экономическом, технологическом и информационном обеспечении, разработке проектной и проектно-сметной документации, организации строительно-монтажных работ.

Реализация указанных мероприятий возможна только при комплексном сосредоточении во времени и пространстве всех работ, финансовом и материальном обеспечении.

Именно поэтому развитие вагонного хозяйства стоит основным вопросом в повестки сегодняшнего дня, где ключевая роль определена в цифровой трансформации вагонного хозяйства и развитии полигонных технологий.

За последние годы было предпринято ряд усилий по совершенствованию деятельности хозяйства, в частности:

разработаны современные диагностические средства, которые позволяют выявлять неисправности подвижного состава, максимально исключая человеческий фактор;

продолжается процесс по совершенствованию технологии технического обслуживания на ПТО. Средняя протяженность гарантийных участков составила 2703 км, что исключило более, чем 200 станциях операции по техническому обслуживанию.

Перечисленные системные мероприятия направлены на техническое, технологическое и организационное развитие вагонного комплекса, что позволило за три последних года снизить количество событий на 34,9%, отказов технических средств на 27,4%, отцепок груженных вагонов в пути следования на 14,9%, технологических нарушений на 31,3%.

Также одним из приоритетных направлений является развитие и вовлечение владельцев подвижного состава к технологии по мониторингу предотказного состояния грузовых вагонов в эксплуатации. На текущий момент вовлечено более 20 операторов или 60% парка принадлежности РФ.

Реализация первого этапа развития мониторинга предотказного состояния грузовых вагонов уже сегодня позволила снизить отцепки груженных вагонов в пути следования на 17%, отказы технических средств на 18% и технологических нарушений на 28%.

Дальнейшими этапами развития системы мониторинга предотказного состояния грузовых вагонов является насыщение сети железных дорог новыми диагностическими средствами (в настоящее время на сети ж.д. размещено более 6 тыс. средств диагностики), которые позволяют выявлять неисправности подвижного состава, максимально исключая человеческий фактор, а также обрабатывать получаемые данные с помощью искусственного интеллекта.

К примеру, ППСС успешно прошла приёмочные испытания и введена в постоянную эксплуатацию на станции Батайск Северо-Кавказской железной дороги. В составе системы реализованы функции по контролю веса и габарита подвижного состава, технических неисправностей тележки, колёсной пары и тормозного оборудования, выявления всех видов отрицательной динамики. Сформирован проект концепции по дооснащению ППСС на 26 важнейших

сортировочных станций, который будет рассмотрен на данном заседании секции «Вагонное хозяйство».

Целевой моделью организации вагонного хозяйства к 2025 году является обеспечение безопасного проследования грузовых вагонов по гарантийному участку (в среднем) до 4 753 км (в настоящее время 1893 км, увеличение в 2,5 раза), где основным элементом обеспечивающим повышение эффективности функционирования хозяйства и достижение ключевых параметров Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» является улучшение качества подготовки вагонов к перевозке. Для этого сегодня нам крайне важно утвердить концепцию развития сетевых и региональных ППВ.

Совместная координация действий всех заинтересованных сторон обеспечит «трансформацию» вагонного хозяйства, что будет выгодно всем.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Галиев Ильхам Исламович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Президент ОмГУПС, заслуженный деятель
науки и техники РФ, д. т. н., профессор
кафедры «Теоретическая и прикладная
механика» ОмГУПС.
Тел: +7 (3812) 31-16-09.
E-mail: Prezident@omgups.ru

Лукс Дмитрий Юрьевич

Центральная дирекция инфраструктуры –
филиал ОАО «РЖД».
Каланчевская, д. 35, Москва, 129090,
Российская Федерация.
Канд. техн. наук, Начальник технического
отдела Управления вагонного хозяйства
Центральной дирекции инфраструктуры –
филиала ОАО «РЖД».
Тел.: (499) 262-54-27.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Galiev Ilzam Islamovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
President of OSTU, Doctor of Technical
Sciences, professor of the department
"Theoretical and Applied Mechanics" OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-18-11.
E-mail: aleksandr_rauba@mail.ru

Luks Dmitry Yuryevich

Central Directorate of Infrastructure, a branch of
Russian Railways.
Kalanchevskaya, 35, Moscow, 129090,
the Russian Federation.
Cand. Tech. Sciences, Head of technical
department Central Directorate of Infrastructure
– a branch of Russian Railways.
Phone: (499) 262-54-27.

А. С. Голубков, Г. Р. Ермачков, С. Н. Смердин

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ТОКОСЪЕМА НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ НАЖАТИЯ В КОНТАКТЕ

В соответствии с современными отраслевыми, государственными и международными стандартами в области токосъема регулирование нажатия токоприемника осуществляется в депо с помощью изменения статической характеристики либо с помощью аэродинамических элементов, которые повышают вертикальную силу в зависимости от скорости движения. Учитывая высокую сложность и недостаточную эффективность изменения нажатия данными способами, его устанавливают в широком диапазоне (90 – 130 Н для токоприемников тяжелого типа и 70 – 110 Н для токоприемников легкого типа). Такие способы не позволяют учитывать особенности участка обращения электроподвижного состава и режимы его движения. Таким образом, совершенствование эксплуатационных показателей системы токосъема, увеличение пробега токосъемных элементов за счет совершенствования технологии регулирования нажатия в контакте, в том числе посредством изменения давления в пневматических контурах системы управления токоприемника по условию наименьшего износа токосъемных элементов, является актуальной задачей при развитии скоростного и высокоскоростного железнодорожного движения.

Ключевые слова: система токосъема, износ токосъемных элементов, контактное нажатие, упреждающее воздействие.

Anton S. Golubkov, Gleb R. Ermachkov, Sergey N. Smerdin

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

IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE CURRENT COLLECTION SYSTEM BASED ON PRELIMINARY CALCULATIONS OF CONTACT FORCE

In accordance with modern industry, state and international standards in the field of current collection, the control of pressing the pantograph is carried out in the depot by changing the static characteristic or using aerodynamic elements that increase the vertical force depending on the speed of movement. Considering the high complexity and insufficient efficiency of changing the

pressing by these methods, it is installed in a wide range (90 - 130 N for heavy-type pantographs and 70 - 110 N for light-type pantographs). Such methods do not allow taking into account the peculiarities of the circulation area of the electric rolling stock and the modes of its movement. Thus, improving the performance of the current collector system, increasing the mileage of the current collector elements by improving the technology for regulating pressing in contact, including by changing the pressure in the pneumatic circuits of the current collector control system under the condition of the least wear of the current collector elements, is an urgent task in the development of high-speed and high-speed movement.

Keywords: current collection system, wear of current collection elements, contact force, pre-emptive action.

В соответствии с долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 г. одним из приоритетных направлений развития транспортной системы нашей страны является расширение сети скоростных и высокоскоростных магистралей [1]. В условиях увеличения скоростей движения, повышение эксплуатационных показателей системы токосъема может быть достигнуто за счет управления нажатием в контакте системы токосъема.

На современном этапе развития имеется техническая возможность заложить в электронный паспорт электроподвижного состава (ЭПС) параметры инфраструктуры участка эксплуатации с надлежащей детализацией. Конструкция современных токоприемников позволяет на аппаратном уровне регулировать нажатие в контакте за счет изменения избыточного давления в пневматическом контуре токоприемника. Требуемый уровень давления в пневмоприводе можно определить по условию наименьшего износа токосъемных элементов токоприемника. Для этого необходимо получить зависимость изнашивания токосъемных элементов от эксплуатационных факторов, оказывающих значительное, не случайное влияние на рассматриваемый процесс. По результатам определения параметров износа (j) в лабораторных условиях по программе центрального композиционного ротатбельного планирования отобраны предикторы (тяговый ток (I), скорость движения ЭПС (v), избыточное давление в приводе (ρ)), на основании которых получено регрессионное уравнение изнашивания токосъемных элементов [2,3] с использованием пакета прикладных программ *MATLAB* и расширения *Polyfitn* [4].

Расчет нажатия в контакте ($P_{\text{кт}}$) при различных условиях эксплуатации осуществляется с применением искусственных нейронных сетей (ИНС) [5].

Первостепенной задачей на пути к определению оптимального среднего контактного нажатия, при заданных значениях тока и скорости движения, является определение зависимости $P_{\text{стат}}$ от ρ . В результате экспериментальных исследований получено регрессионное уравнение влияния ρ и высоты подъема токоприемника ($h_{\text{ТП}}$) на статическое нажатие:

$$P_{\text{стат}} = -356 - 18.77 \cdot 10^{-4} \cdot h_{\text{ТП}} + 91.76 \cdot \rho + 1.34 \cdot 10^{-6} \cdot h_{\text{ТП}}^2 - 42.57 \cdot 10^{-5} \cdot h_{\text{ТП}} \cdot \rho. \quad (1)$$

На основании приведенного уравнения построена поверхность изменения $P_{\text{стат}}$ от ρ и $h_{\text{ТП}}$ (рисунок 1).

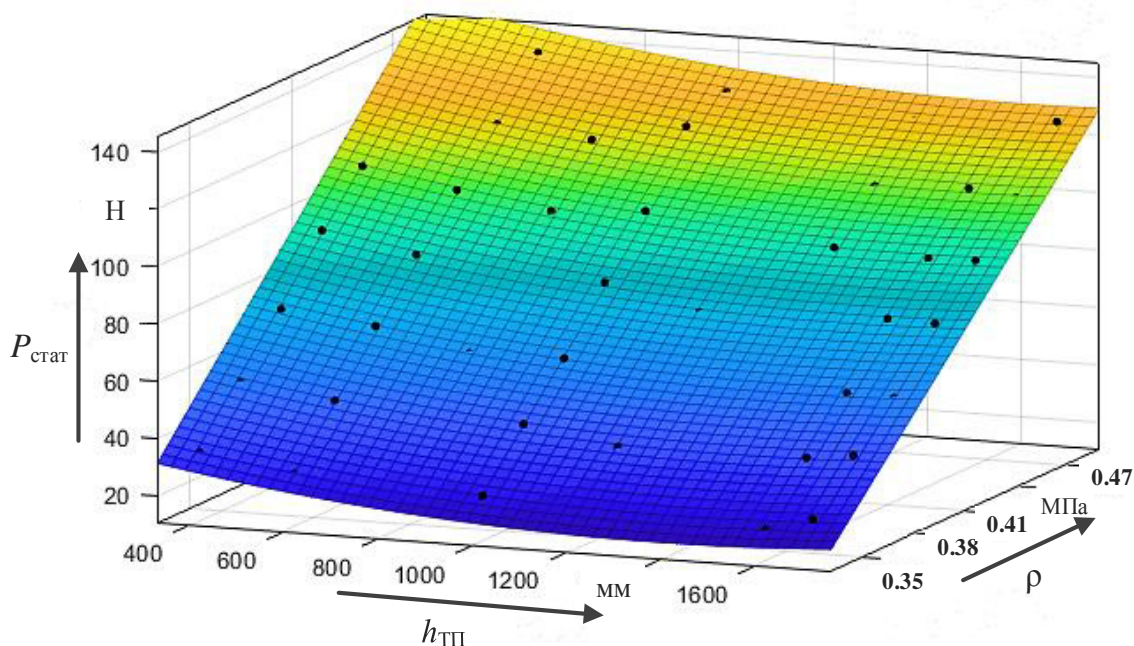


Рисунок 1 – Поверхность изменения статического нажатия от давления в приводе и высоты подъема токоприемника

Для учета аэродинамической составляющей нажатия в контакте ($P_{\text{аэр}}$) получено регрессионное уравнение, аппроксимирующее результаты экспериментальных испытаний увеличения силы контактного нажатия в результате аэродинамических воздействий на токоприемник при различных скоростях и направлениях движения на участке Белореченская–Майкоп (рисунок 2).

Результирующая математическая модель для исследования влияния ρ на показатели качества токосъема представляет собой комплекс из приведенных выше регрессионных уравнений (рисунок 3) [2]. Реализация разработанной модели осуществляется в программном обеспечении для ЭВМ (ПО) [6].

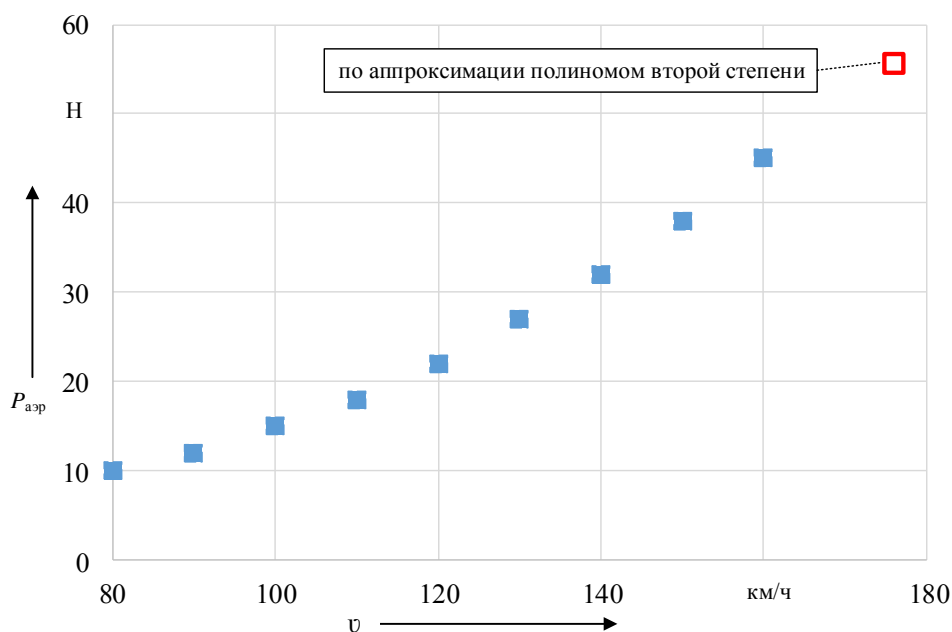


Рисунок 2 – Аэродинамическая характеристика токоприёмника в направлении движения «коленом» назад

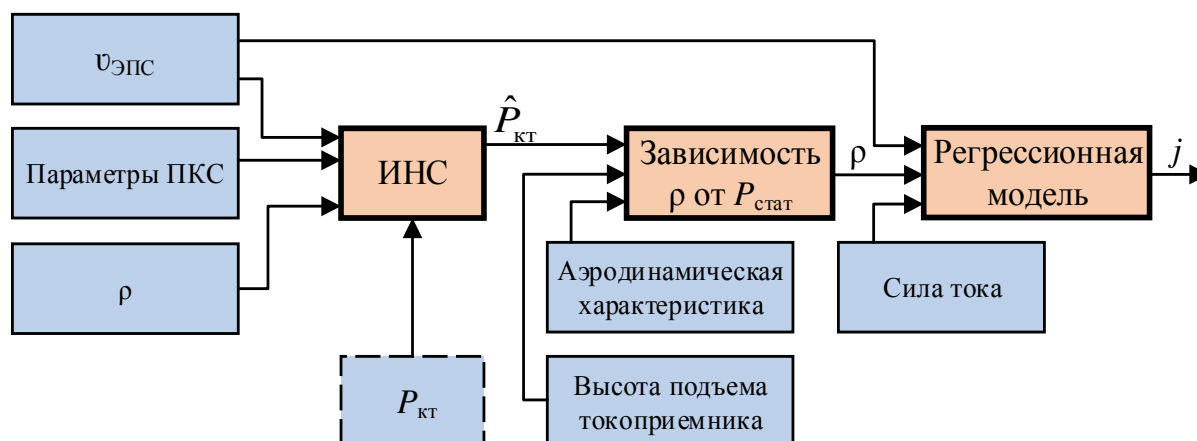


Рисунок 3 – Структура математической модели для исследования влияния давления в приводе токоприемника на показатели качества токосъема

С использованием разработанного ПО были получены гистограммы износа токосъемных элементов по ширине полоза токоприемника после пробега 40 000 км, на основании которых можно сделать вывод, что наибольший износ полоза приходится на его центральную часть, при этом края полоза изнашивались значительно меньше.

По полученным в результате моделирования значениям j для рассматриваемых токосъемных элементов произведена оценка изнашивания контактного провода (рисунок 5). Для этого значения j токосъемных элементов

привязываются к смещению контактного провода в плане пути по длине участка. Данная процедура позволяет установить места подвески контактной сети, на которых наблюдается повышенный износ и требуется регулировка.

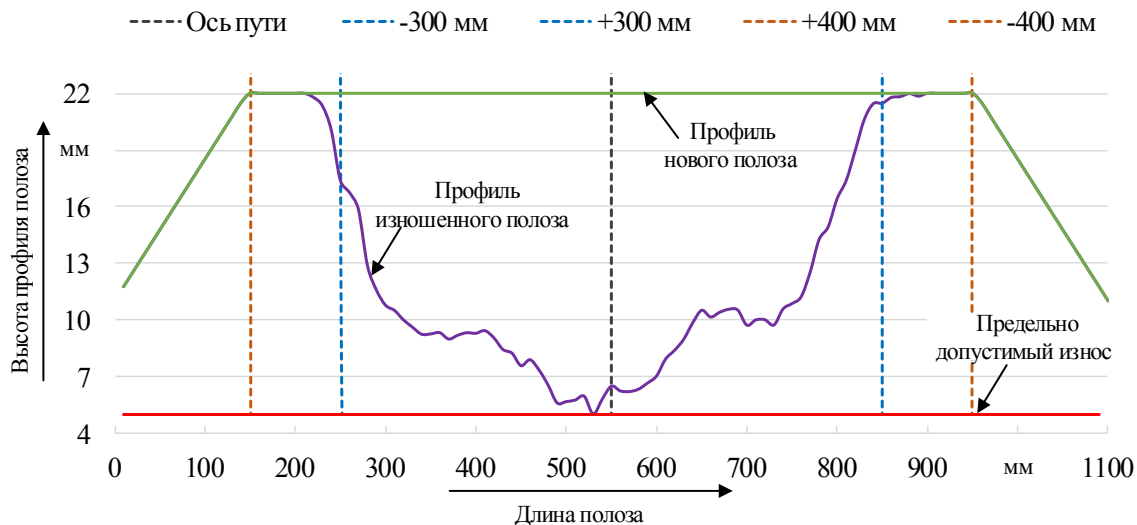


Рисунок 4 – Профиль изношенного полоза для токоприемника электровоза ЭП20

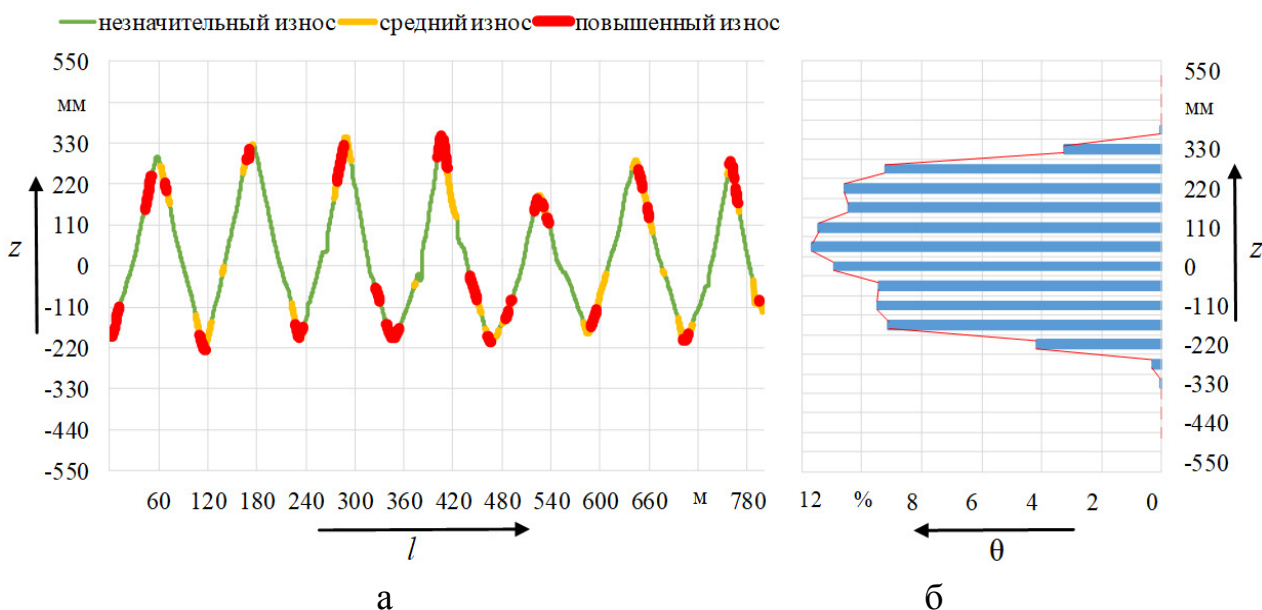


Рисунок 5 – Фрагмент интенсивности изнашивания токосъемных элементов по длине перегона (а), вероятность попадания точки контакта в заданный интервал (θ) по ширине полоза (б)

Разработанное ПО было использовано для определения оптимального среднего нажатия токоприемника ($P_{\text{опт}}$) по критерию наибольшего пробега токосъемных элементов. Согласно алгоритму $P_{\text{опт}}$ для каждого участка определялось итерационным способом, путем расчета суммарного износа (J)

при различных значениях среднего контактного нажатия ($P_{ср}$), тока и скорости ЭПС с учетом заданной допустимой ошибки (ε) (рисунок 6). Каждому полученному значению соответствует значение давления в пневмоприводе с учетом длин отрезков регулирования.

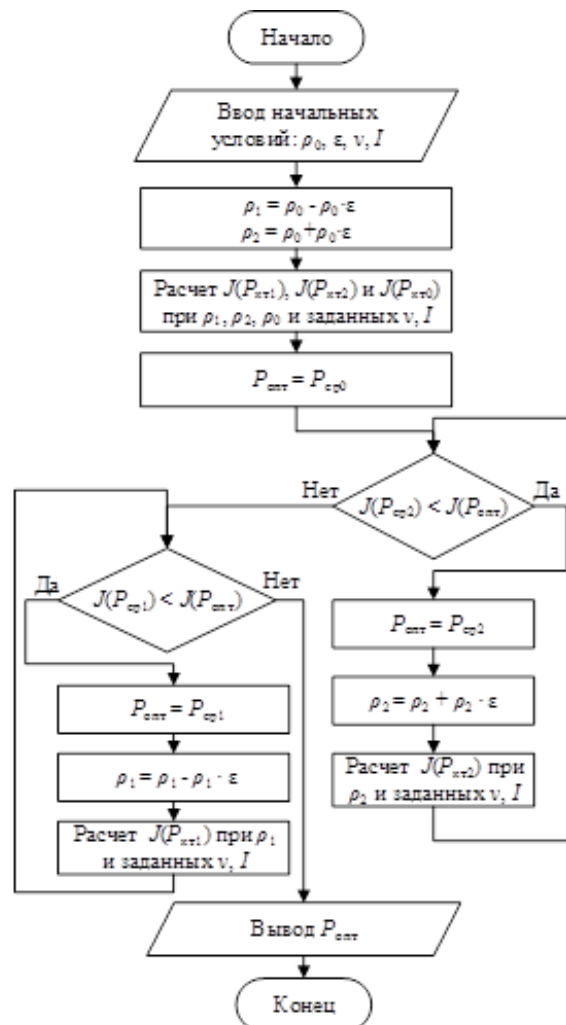


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма определения оптимального среднего контактного нажатия

Полученная информация сохраняется в многомерную таблицу для опорных значений скорости. Для промежуточных значений скорости оптимальное давление определяется путем интерполяции ранее полученных данных. Составленные управляющие карты выбираются в соответствии с данными местоположения, тока и скорости ЭПС.

Предложенный алгоритм использован при создании устройства программного управления приводом токоприемника [7]. Принцип действия устройства основан на управлении электропневматическими клапанами, изменяющими давление в пневмосистеме посредством блока управления,

который в свою очередь получает информацию от комплекса датчиков расположенных на ЭПС.

Система программного регулирования (СПР) осуществляет упреждающее воздействие на основании показаний с датчика местоположения и известных значениях тока и скорости из графика движения ЭПС, привязанных к координатам местоположения. В случае возникновения непредвиденных ситуаций, таких как появление гололеда, которые вызывают отклонения от нормальной работы, осуществляется автоматическое регулирование по факту возникновения нежелательных явлений, основанное на показаниях с датчиков искрения и нажатия.

Для оценки работоспособности и эффективности разработанного устройства создана методика и выполнены экспериментальные исследования в лабораторных условиях. Оценка влияния разработанной СПР на износ токосъемных элементов (ТЭ) производилась путем проведения однотипных экспериментов для токоприемника, не оснащенного СПР и оснащенного предлагаемой системой. Программа изменения статического нажатия токоприемника, оснащенного СПР, построена с учетом постоянных времени переходных процессов и алгоритма определения оптимального среднего контактного нажатия. По результатам экспериментальной проверки доказано увеличение пробега токосъемных элементов токоприемника на 8% (рисунок 7).

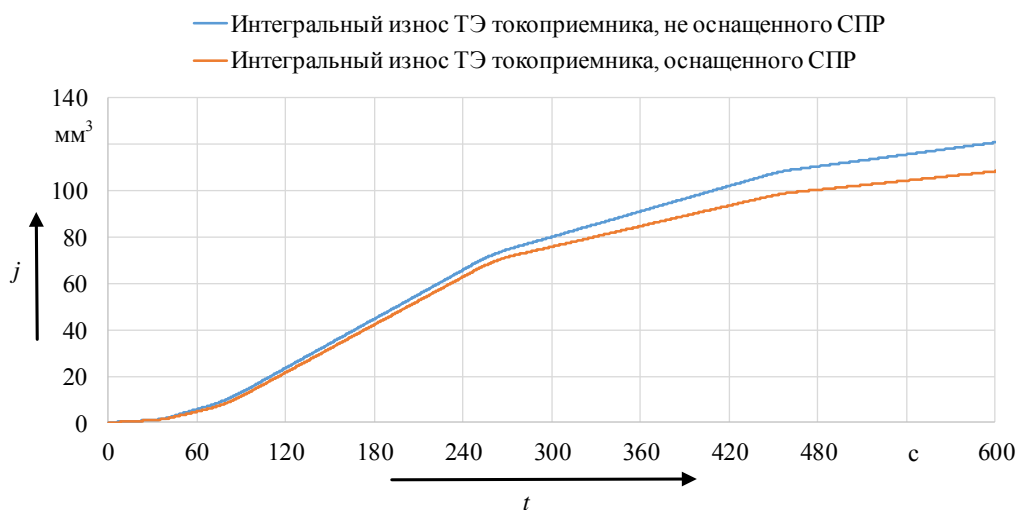


Рисунок 7 – Интегральный износ токосъемных элементов

Усовершенствованное устройство управления приводом для реализации расчетных режимов нажатия приведет к увеличению срока службы токосъемных элементов токоприемника электроподвижного состава за счет снижения их износа, а также позволит повысить эффективность эксплуатации

при различных параметрах подвески контактной сети, повышении скоростей движения и токовых нагрузок. Разработанная методика экспериментальных исследований для оценки эффективности применения усовершенствованного устройства способствует сокращению времени исследовательских испытаний при разработке новых конструкций токоприемников и систем их управления.

Список литературы

1. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-р. – Текст : электронный // Кодификация РФ : сайт. – URL: <https://rulings.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-19.03.2019-N-466-r/> (дата обращения: 30.10.2020).
2. Ермачков, Г. Р. Повышение эффективности эксплуатации токоприемников электроподвижного состава за счет программного регулирования давления в пневмосистеме / Г. Р. Ермачков. – Текст: непосредственный // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2020. – № 5. – С. 56–63.
3. Повышение эффективности эксплуатации токоприемников электроподвижного состава за счет совершенствования системы автоматического регулирования / А. Н. Смердин, Г. Р. Ермачков [и др.]. – Текст: непосредственный // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава : материалы всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2019. – С. 121–127.
4. D'Errico, J. Polynomial modeling in 1 or n dimensions // MATLAB Central File Exchange : сайт. – URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34765-polyfitn> (дата обращения: 19.04.2020). – Текст: электронный.
5. Смердин, А. Н. Применение нейронных сетей для моделирования взаимодействия контактной подвески и токоприемника / А. Н. Смердин, А. С. Голубков, Г. Р. Ермачков. – Текст: непосредственный // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика: материалы международной научно-практической конференции / Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – Алматы, 2018. – С. 66–72.
6. Голубков, А. С. Увеличение ресурса токосъемных устройств за счет выбора рациональных сочетаний участковой скорости электроподвижного состава и параметров системы токосъема / А. С. Голубков, Г. Р. Ермачков,

А. Н. Митрофанов. – Текст: непосредственный // Известия Транссиба. – 2018. – № 4 (36). – С. 2–9.

7. Патент №196660 Российская Федерация, МПК В60L 5/00. Устройство регулирования нажатия токоприемника на контактный провод : № 2019141363 : заявлено 11.12.2019 : опубликовано 11.03.2020 / Сидоров О. А., Ермачков Г. Р., Смердин А. Н., Голубков А. С. Бюл. № 8. – Текст: непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Голубков Антон Сергеевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Электроснабжение
железнодорожного транспорта» ОмГУПС.

Ермачков Глеб Романович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Заведующий лабораториями кафедры
«Электроснабжение железнодорожного
транспорта», ОмГУПС.
E-mail: gl.ermachkov@gmail.com.

Смердин Сергей Николаевич

Общество с ограниченной
ответственностью «ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ»
(ООО «ИТЭЛ»).

С Стальского ул., д. 12, г. Омск, 644121,
Российская Федерация.
Инженер, общество с ограниченной
ответственностью «ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ»
(ООО «ИТЭЛ»).

Тел.: +7(3812) 33-59-80.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Golubkov Anton Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Technical Sciences, associate
professor of the department «Electricity
supply of railway transport» OSTU.

Ermachkov Gleb Romanovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Head of laboratories of the department
of «Electricity supply of railway
transport» OSTU.
E-mail: gl.ermachkov@gmail.com.

Smerdin Sergey Nikolaevich

The limited liability company
«INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN
power SUPPLY» (LLC «ITEL»).

12, S Stalskogo st., Omsk, 644121,
the Russian Federation.
Project engineer, limited liability company
«INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN
POWER SUPPLY» (LLC «ITEL»).

Phone: +007(3812) 33-59-80.

В. В. Томилов, О. А. Сидоров, С. М. Утепбергенова

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПРИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ

В статье рассмотрены вопросы повышения токовой нагрузочной способности токоприемника за счет применения в конструкциях ползцов охлаждающих устройств. Предложены новые технические решения, обеспечивающие снижение тепловой нагрузки на полз токоприемника.

Ключевые слова: токоприемник, полз, электровоз, нагрузочная способность, охлаждающие устройства

Valery. V. Tomilov, Oleg. A. Sidorov, Sandugash. M. Utepbergenova

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

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTRIC LOCOMOTIVES IN CONTINUOUS OPERATION IN HEAVY TRAFFIC CONDITIONS

The article discusses the issues of increasing the current load capacity of the pantograph due to the use of cooling devices in the construction of pan head. New technical solutions are proposed to reduce the thermal load on the pantograph pan head.

Keywords: pantograph, pan head, electric locomotive, load capacity, cooling devices

В соответствии со стратегией развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 30 года ведущее положение железных дорог определяет их возможность перевозить основную часть потоков массовых грузов. Увеличение интенсивности движения и массы составов требует передачи электрической энергии тяговыми токами свыше 3000 А, что обусловлено существующей системой тягового электроснабжения постоянного тока 3,3 кВ. Передача такой энергии приводит к значительному нагреву токоведущих и контактных материалов электрической цепи электровоза, в том числе токоприемников, в результате чего происходит:

- разупрочнение каркаса полоза, испарение токопроводящего клея;
- перегрузка шунтов приводит к их отжигу, разупрочнению и обрыву, увеличивая при этом нагрузку на оставшиеся шунты;
- значительное повышение температуры приводит к испарению смазки вставки, разупрочнению контактных элементов и, как в следствие, их значительному износу (см. рисунок 1).

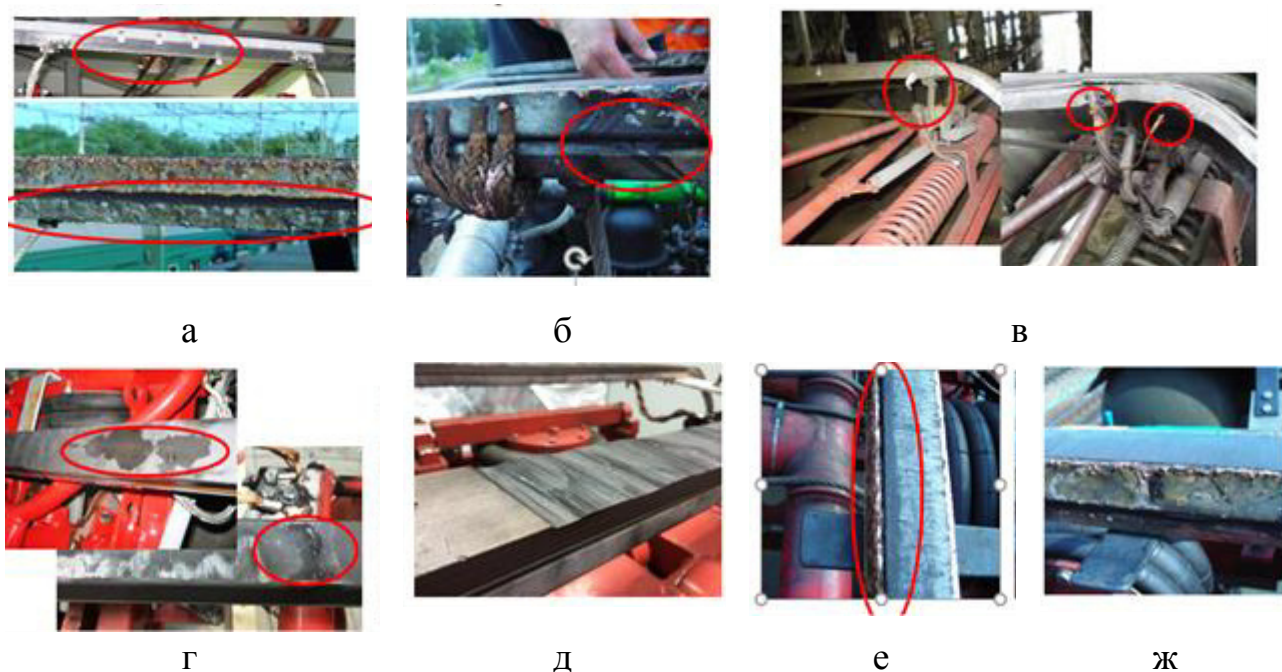


Рисунок 1 – Виды износов токоведущих и контактных материалов полозов токоприемников

- а – разупрочнение каркаса; б – испарение токопроводящего клея; в – обрыв шунтов;
 г – испарение смазки вставки; д – износ контактного элемента;
 е – отслоение обоймы от вставки; ж – разупрочнение обоймы.

Современная конструкция полоза обуславливает его значительную цену. Сокращение издержек требует совершенствования системы токосъема и её характеристик, обеспечивающих съём значительных тяговых токов при удовлетворительном качестве токосъема. Конструкция (см. рисунок 2) верхнего узла токоприемника представляет собой, европолоз с алюминиевым закрытым профилем, внутренние полости которого обеспечивают несущую способность, крепление шунтов, каналов, аварийно-опускающих устройств. Вставки типа Кашпировский включают угольно-медный материал, заключённый в медную обойму, вставки Шунк и PanTrac являются самонесущими. Закрытая конструкция каркаса, внутренние полости которого заполнены воздухом, снижает отвод тепла с его нижней части.

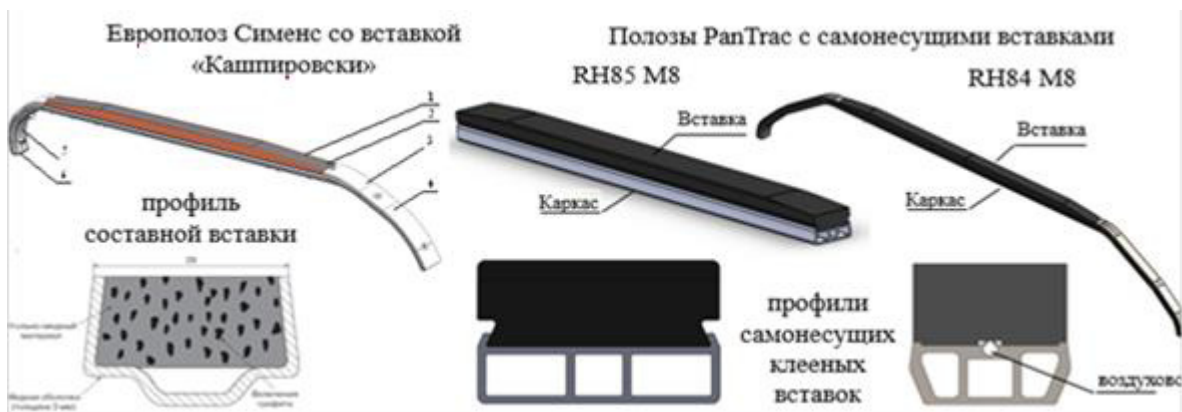


Рисунок 2 – Особенности современной конструкции полоза

Для обеспечения эксплуатационных показателей электровоза в продолжительных режимах работы за счет увеличения максимально допустимого длительного тока путем совершенствования конструкции токоприемника поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ устройств охлаждения полозов токоприемников и на его основе разработана классификация способов их охлаждения, выбраны пути снижения тепловой нагрузки на полоз.

2. Разработана методика расчета теплообмена в конструкции полоза в переходных режимах при его нагреве и охлаждении.

3. Усовершенствована математическая модель теплового состояния полоза токоприемника в установившемся режиме с учетом наличия системы охлаждения, движения электроподвижного состава и изменения положения контактных проводов в плане.

4. Предложены новые технические решения, обеспечивающие снижение тепловой нагрузки на полоз токоприемника.

5. Разработана методика и выполнена экспериментальная оценка предложенных технических решений с учетом движения электроподвижного состава и положения контактных проводов в плане.

В усовершенствованной математической модели теплового состояния полоза токоприемника учитывается распределённое воздействие контактных проводов на элементы полоза токоприемника шириной 30 мм. Для каждого элемента составляется уравнение теплового баланса, в котором источниками тепла являются тяговый ток в контактном сопротивлении и транзитный ток во вставке и в каркасе.

Решение осуществляется методом эквивалентных тепловых схем замещения в тепловой схеме замещения полоза. К элементам без

тепловыделений относятся рога полоза и воздушные полости в каркасе. Теплоотдача между элементами полоза осуществляется теплопроводностью, в окружающую среду – конвекцией и излучением, между полозом и воздушным пространством в полостях – конвекцией.

Для схемы замещения составляется электрическая схема замещения тепловых процессов, на основании которой составляется матрица уравнений. Решение осуществлено в программе Маткад.

Усовершенствованная модель позволяет рассчитывать переходные процессы нагрева. Время достижения установившейся температуры составляет 13 минут, максимальное значение температуры полоза располагается в его центре, в связи с чем именно центральную часть для снижения тепловой нагрузки нуждается в более интенсивном охлаждении.

Предлагаемая конструкция полоза оснащается конфузуром, подающим воздушный поток в центральную часть каркаса. Проходя вдоль полоза по его полостям, осуществляется отведение тепла к рогам и далее через естественные концы каркаса. (см. рисунок 3). Для работы в обоих направлениях в конструкции двойного конфузора используется дроссельная заслонка, которая опрокидывается естественным набегающим потоком воздуха.

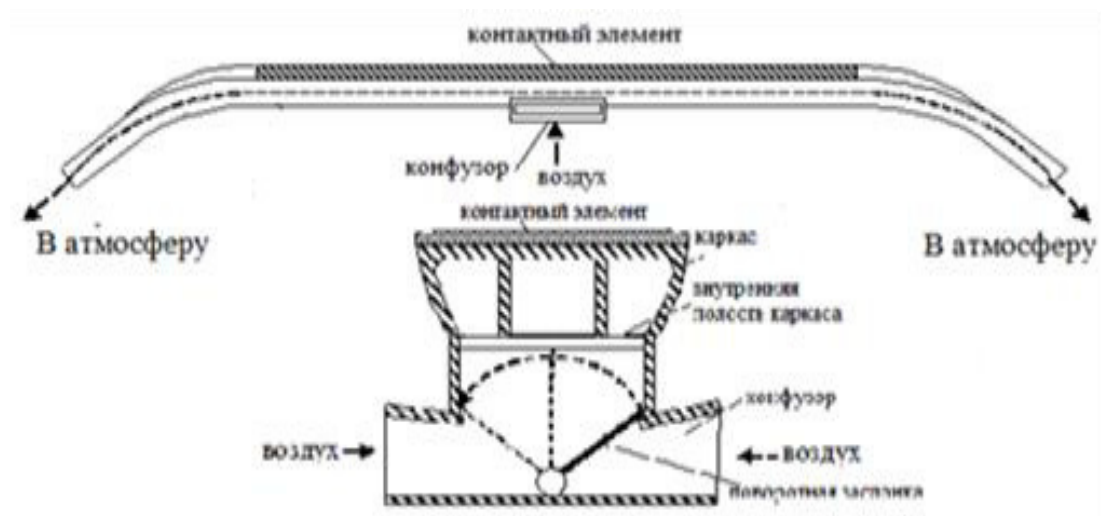


Рисунок 3 – Первый вариант предлагаемой конструкции полоза токоприемника

Движение охладителя внутри полостей может быть обеспечено путем установки двух конфузуров по краям полоза (см. рисунок 4), один из которых работает в режиме диффузора (выпуск воздуха), а второй – по назначению (для подачи воздуха). Такая пара «конфузор – диффузор» обеспечивает движение воздуха в каркасе в обоих направлениях движения токоприемника без потери

прочности существующей конструкции. Профилированные элементы могут быть выполнены из пластика, не увеличивая значительно массу полоза, а в случае разрушения – не приводить к прекращению работоспособности полоза.

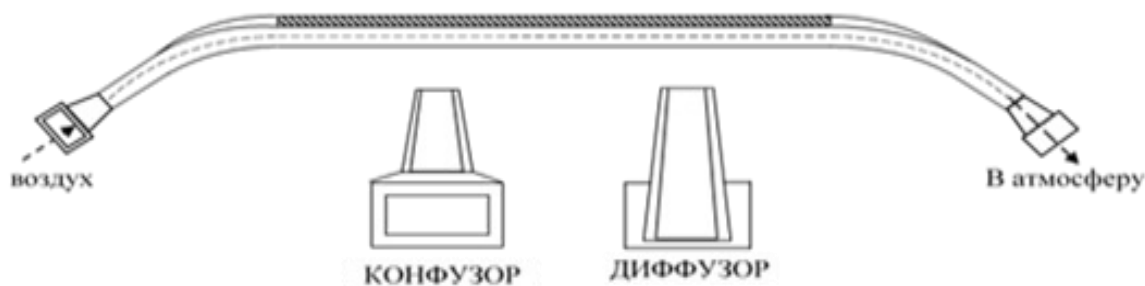


Рисунок 4 – Второй вариант предлагаемой конструкции полоза токоприемника

Математическая модель состоит из 74 дифференциальных уравнений и отличается от типовой реализацией движения воздуха с отводом тепла. Температура на входе в конфузор принимается равной температуре окружающей среды. Величина мощности в переходном контакте определяется временем взаимодействия контактного провода с ползком в конкретном элементе. Допущением модели является равномерный закон распределения зигзага контактной подвески.

Экспериментальные исследования, проведённые в лаборатории, «Конструкции контактных сетей, линий электропередачи и устройств токосъёма» ОмГУПС, доказали целесообразность применения воздушного охлаждения полоза путем движения воздуха в полостях его каркаса.

Результаты теплового расчета 3D модели полоза с центральным конфузором указывают на перспективность применения данной системы охлаждения.

Трёхмерная модель полоза токоприемника разработана в программе SolidWorks. Расчет аэродинамических и тепловых характеристик осуществлен в приложении SolidWorks flow simulation. Для имитации распределённого контакта вдоль полоза токоприёмника применен имитатор контактного провода, воспроизводящий тепловое состояние, как на термограммах экспериментов.

Модели полозов, оснащенных системами охлаждения с конфузорами различной геометрией, указывают на следующую закономерность: эффективность охлаждения достигается при площади конфузора равные сечению полости каркаса. Увеличения конфузоров не приводит к значительному снижению температуры, однако приводит к резкому увеличению аэродинамического лобового

сопротивления. Результаты расчета методом конечных элементов согласуются с результатами метода эквивалентных тепловых схем замещения и их расхождение не превышает 5%. Достоверность полученных результатов при сравнении с экспериментальными определена с помощью критерия Стьюдента. Величина критерия составляет не менее 95 %.

Для оценки работоспособности системы охлаждения полоза в лабораторных условиях был проведен эксперимент с охлаждением каркаса первого по ходу движения полоза. До момента начала охлаждения полоза был достигнут установившийся режим его нагрева при сьеме тока 3200 А.

Максимальная величина снижения температуры наблюдается в максимуме нагрева полоза и составляет 24°C. Время охлаждения – 3,5 мин. Распределение температуры второго по ходу движения полоза не изменилось.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных температуры нагрева осуществлено в точке максимального нагрева и их расхождение не превышает 3 %. В качестве критерия использовался коэффициент парной корреляции Пирсона.

Предложенные новые технические решения, обеспечивают снижение тепловой нагрузки на полз, токоприемники позволяют снимать большие значения тягового тока и увеличить срок службы токопроводящих элементов ползозов электровозов в условиях тяжеловесного движения.

Список литературы

1. Томилов, В. В. Математическая модель системы охлаждения полоза токоприемника в режиме движения магистрального электроподвижного состава / В. В. Томилов, С. М. Утепбергенова, О. А. Сидоров. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2020. – № 2 (65). – С. 86–92.

2. Утепбергенова, С. М. Усовершенствованная математическая модель теплового состояния полоза токоприемника магистрального электроподвижного состава постоянного тока / С. М. Утепбергенова, В. В. Томилов. – Текст : непосредственный // Известия Трансси-ба. – 2020. – № 1 (41). – С. 58–72.

3. Утепбергенова, С. М. Методика расчета теплового состояния полоза токоприемника магистрального электроподвижного состава с учетом изменения положения контактного провода в плане / С. М. Утепбергенова, В. В. Томилов, О. А. Сидоров. – Текст : непосредственный// Известия Транссиба. – 2019. – № 4 (40). – С. 43–53.

4. Патент № 192592 Российская Федерация, МПК В60L 5/00 (2006.01).
Полоз токоприемника электроподвижного состава : № 2019119308 : заявлено
19.06.2019 : опубликовано 23.09.2019 / Сидоров О. А., Томилов В. В.,
Утепбергенова С. М.; патентообладатель Омский гос. ун-т путей сообщения. –
3 с. : ил. – Текст : непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Томилов Валерий Викторович

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 (913) 610-62-67.
E-mail: tomilov_omsk@mail.ru.

Сидоров Олег Алексеевич

Омский государственный университет путей
сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доктор технических наук, заведующий
кафедрой «Электроснабжение
железнодорожного транспорта» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 31-34-46
E-mail: egt@omgups.ru

Утепбергенова Сандугаш Мырзабековна

Омский государственный университет путей
сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Аспирантка кафедры «Электроснабжение
железнодорожного транспорта» ОмГУПС.
Тел.: +7 (904) 070-09-86.
E-mail: sandee86@mail.ru.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Tomilov Valery Viktorovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department «Power supply
of railway transport» OSTU.
Phone: +7 (913) 610-62-67.
E-mail: tomilov_omsk@mail.ru.

Sidorov Oleg Alekseevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Doctor of Technical Sciences, professor,
head of the Department «Power supply of
railway transport» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-34-46.
E-mail: egt@omgups.ru.

Utepbergenova Sandugash Myrzabekovna

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Federation. Graduate student of the
Department « Power supply of railway
transport » OSTU.
Phone: +7 (904) 070-09-86.
E-mail: sandee86@mail.ru.

А. А. Бакланов¹, С. В. Спиридонов², А. П. Шилияков¹

¹Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Российская Федерация,

²Западно-Сибирская дирекция моторвагонного подвижного состава,
ОАО «РЖД», г. Новосибирск, Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ЭС1 «ЛАСТОЧКА» НА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Выполнен анализ существующей системы обеспечения пригородных перевозок на участках Западно-Сибирской железной дороги. Рассмотрены перспективы использования новых двухсистемных электропоездов, оснащенных асинхронным тяговым приводом, на участках Западно-Сибирской железной дороги. Проведен сравнительный анализ скоростного электропоезда серии ЭС1 «Ласточка» с электропоездами постоянного и переменного тока, находящимися в эксплуатации в настоящее время. Рассмотрены показатели использования двухсистемных электропоездов серии ЭС1 на участке Новосибирск – Барнаул.

Ключевые слова: двухсистемный электропоезд, система электрификации участка железной дороги, участок обращения электропоезда, показатели использования электропоезда в эксплуатации.

Alexandr A. Baklanov¹, Sergey V. Spiridonov², Andrey P. Shilyakov¹

¹Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation,

²West Siberian Directorate of Multiple Unit Rolling Stock, the Russian Railways,
Novosibirsk, the Russian Federation

PROSPECTS FOR USING HIGH-SPEED ELECTRIC TRAINS ES1 "LASTOCHKA" ON THE WESTERN SIBERIAN RAILWAY

The analysis of the existing system for providing suburban traffic on the sections of the West Siberian railway is carried out. The prospects of using new two-system electric trains equipped with asynchronous traction drives on the sections of the West Siberian railway are considered. A comparative analysis of a high-speed electric train of the ES1 "Lastochka" series with electric trains of direct and alternating current, which are currently in operation, is carried

out. The indicators of the use of two-system electric trains of the ES1 series on the Novosibirsk - Barnaul section are considered.

Keywords: two-system electric train, electrification system of a railway section, electric train circulation section, indicators of electric train use in operation.

Уровень развитие транспортной системы в стране во многом определяет характер и темпы качественных и количественных изменений в ее экономике. На сегодняшний день ОАО «Российские железные дороги» остается одной из крупнейших в мире транспортных компаний. На долю компании приходится более 44 % грузооборота и свыше 30 % пассажирооборота в России, что делает ее крупнейшим системообразующим элементом экономики страны и важнейшим звеном ее транспортной системы [1].

Стратегией развития ОАО «РЖД», рассчитанной на период до 2030 года, обозначен ряд целей, от достижений которых зависит эффективное развитие конкурентоспособного на российском и мировом рынках транспортного бизнеса, эффективное выполнение задач национального железнодорожного перевозчика грузов и пассажиров. Среди таких стратегических целей важное место занимает стремление обеспечить сохранение существующей доли в пассажирообороте транспортной системы России, задача увеличить к 2030 году пассажирооборот в пригородном сообщении в 1,8 – 2,2 раза, реализация проектов развития скоростных и высокоскоростных перевозок и обеспечение перевозок с новым уровнем скоростей до 20 % (в структуре пассажирооборота) [2].

Очевидно, что достижение поставленных задач невозможно без производства и внедрения на сети железных дорог нового подвижного состава, совершенствования организации его эксплуатации и повышения скоростей движения поездов.

В настоящее время Западно-Сибирской дирекцией моторвагонного подвижного состава (ЗСДМВ) обслуживается 37 участков пригородного движения. Их общая протяженность составляет 3909 км, из которых большая часть 3482 км (89,1 %) приходится на электрифицированные участки. Движение пригородных поездов на них обеспечивают четыре моторвагонных депо, расположенные в пределах Западно-Сибирской железной дороги. Оставшиеся участки (неэлектрифицированные) обслуживаются поездами на тепловозной тяге. Схема обслуживания участков моторвагонным подвижным

составом в пределах Западно-Сибирской железной дороги приведена на рисунке 1.

Из четырех моторвагонных депо ЗСДМВ три (ТЧ-31 Омск, ТЧ-32 Новосибирск, ТЧ-33 Новокузнецк) обеспечивают эксплуатацию электропоездов постоянного тока серий ЭР2, ЭР2Т, ЭР2К, ЭТ2М, ЭД2Т, ЭД4М, ЭД4МК. На участках переменного тока эксплуатируются электропоезда серий ЭД9Т, ЭД9М, ЭД9Э, ЭР9Т, ЭР9П-К приписки моторвагонного депо ТЧ-34 Алтайская.

Анализ приписного парка ЗСДМВ показывает, что эксплуатирующиеся в настоящее время электропоезда являются морально устаревшими, оснащенными коллекторными тяговыми двигателями и системами управления со ступенчатым регулированием их параметров. Выпуск всех серий в настоящее время прекращен.

Сегодня для достижения поставленных стратегических задач ОАО «РЖД» активно закупает современный подвижной состав, при этом как предназначенных для эксплуатации на участках, электрифицированных на определенном роде тока, так и двухсистемных. Так, в последние годы промышленностью освоен выпуск новых грузовых (серии 2ЭВ120) и пассажирских (серии ЭП20) электровозов двойного питания [3].

В качестве наиболее перспективной серии для обновления моторвагонного парка на Западно-Сибирской железной дороге можно рассматривать скоростной двухсистемный электропоезд ЭС1 «Ласточка». Этот электропоезд оборудован схемой автоматического перехода с одной системы тягового электроснабжения на другую, что позволяет сократить общее время в пути в пригородном железнодорожном сообщении за счет прохождения станций стыкования с минимальными задержками.

Важно, что на электропоезда серии ЭС1 «Ласточка» оснащаются асинхронным тяговым приводом, двигатели которого более надежны в эксплуатации и просты в обслуживании и ремонте, чем коллекторные тяговые двигатели электропоездов серий ЭД. Номинальная мощность нового электропоезда в режиме тяги составляет 2550 кВт, тогда как мощность электропоездов серий ЭД в сопоставимой составности – 3640 кВт, что позволяет экономить в сопоставимых условиях до 30 % электроэнергии на тягу. Материал кузова электропоезда серии ЭС1 выполнен из экструдированных алюминиевых профилей, которые в отличие от стальных конструкций,

примененных на электропоездах повышенной комфортности ЭД9МК и ЭД4МК, позволяют облегчить кузов вагонов и увеличить конструктивную скорость более чем на 30 % с 120 км/ч до 160 км/ч [4]. В таблице 1 приведены результаты сравнительного анализа электропоезда серии ЭС1 «Ласточка» с электропоездами постоянного тока ЭД4МК и переменного тока ЭД9МК.

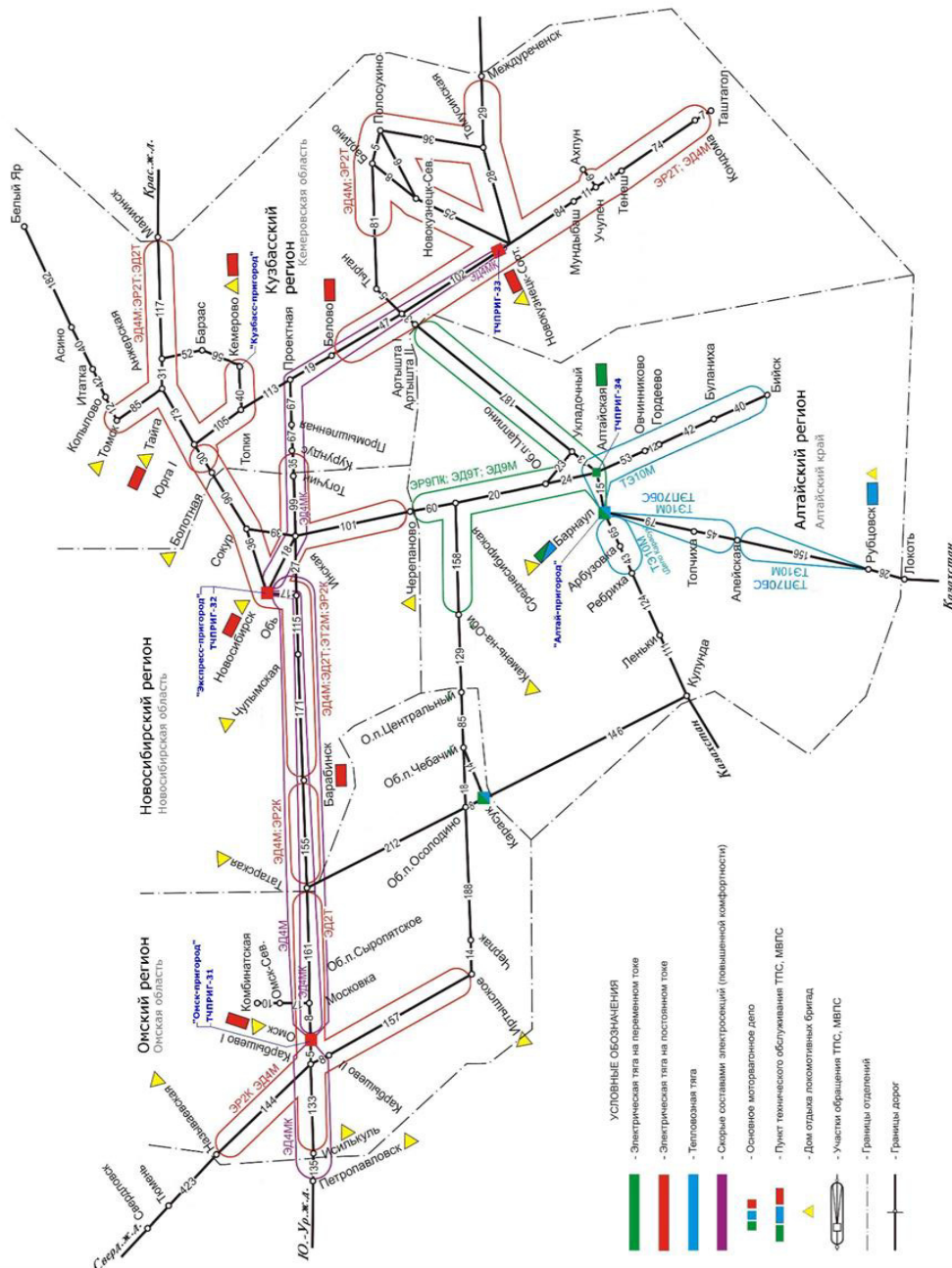


Рисунок 1 – Схема обслуживания участков моторвагонным подвижным составом ЗСДМВ

Таблица 1

Сравнение основных характеристик электропоездов серий ЭС1, ЭД4МК и
ЭД9МК

Основные параметры	Значения для электропоезда		
	ЭС1	ЭД4МК	ЭД9МК
Род тока	постоянный, переменный	постоянный	переменный
Максимальная скорость в эксплуатации, км/ч	160	120	120
Материал кузова	Алюминий	Конструкционн ая сталь	Конструкцион ная сталь
Количество вагонов в составе	5 (6)	10	10
Длина состава, м	126,5 (151,3)	221,0	221,0
Ширина вагона, мм	3480	3522	3522
Crash -система	+	—	—
Герметичный переход между вагонами	+	—	—
Работа по системе многих единиц	+	—	—
Наличие тамбуров	—	+	+
Места для инвалидов с коляской	4	—	—
Рампа для выхода инвалидов	+	—	—
Кондиционирование воздуха	+	—	—
Обеззараживание воздуха	+	—	—
Видеонаблюдение в салоне с хранением данных	+	—	—
Выдача на монитор изображения конкретного места в салоне поезда при срабатывании кнопки вызова машиниста	+	—	—
Видеонаблюдение за посадкой/высадкой пассажиров с хранением данных	+	—	—
Боковые электронные маршрутные указатели на вагонах	+	—	—
Электронные табло информирования пассажира в салоне с указанием маршрута движения, температуры воздуха в салоне и на улице, скорости движения	+	—	—
Срок службы, лет	40	28	28

Кроме указанного электропоезд серии ЭС1 имеет ряд отличительных особенностей, обеспечивающих комфорт и безопасность пассажиров и повышенную надежность оборудования. Среди основного стоит отметить использование энергопоглощающих Crash-элементов, пневматическую подвеску экипажной части, блочно-модульную компоновку оборудования. Состав оборудован панорамными окнами с теплоизоляционными свойствами, пятью экологически чистыми туалетными комплексами и соответствует требованиям обеспечения доступной среды для маломобильных групп населения.

В ходе производства электропоезда используется международный и отечественный опыт с локализацией технологий (не менее 80 %) на территории России. Предполагаемый срок службы этих электропоездов составляет не менее 40 лет.

Существенным недостатком новых электропоездов остается их цена, которая значительно превышает стоимость даже новых серий электропоездов с коллекторными тяговыми двигателями (например, электропоездов серий ЭП2Д и ЭП3Д).

Использование двухсистемных электропоездов серии ЭС1 «Ласточка» на Западно-Сибирской железной дороге будет способствовать решению проблемы прохождения станций стыкования участков с разными системами тягового электроснабжения. Большая часть участков Западно-Сибирской железной дороги электрифицирована на постоянном токе напряжением 3 кВ, однако южные участки протяженностью более 950 км электрифицированы на переменном токе напряжением 25 кВ, частотой 50 Гц.

Стыкование контактной сети переменного и постоянного тока осуществлено на трех станциях дороги: Черепаново, Артышта, Иртышское. Смена рода тока делает невозможным безостановочное движение электропоезда, питающегося только постоянным, либо переменным током, что увеличивает общее время в пути. Так, например, при следовании по маршруту Новосибирск – Барнаул пассажиры на станции Черепаново вынуждены пересаживаться из электропоезда постоянного тока в электропоезд переменного тока. Эксплуатация двух составов разных родов тока в значительной мере увеличивает расход электроэнергии на тягу поездов.

В качестве наиболее перспективного на начальном этапе внедрения электропоездов «Ласточка» стоит рассматривать направление Новосибирск – Барнаул. Причина здесь очевидна – данное направление связывает

административные центры Сибирского федерального округа и Алтайского края, характеризуется достаточно большим пассажиропотоком с перспективами увеличения за счет развития туризма в Республике Алтай. В таблице 2 приведены результаты предварительного расчета показателей использования двухсистемных электропоездов серии ЭС1 на участке Новосибирск – Барнаул, выполненных специалистами ЗСДМВ по результатам опытных поездок электропоездов в 2015 году.

Остается открытым вопрос организации технического обслуживания и ремонта новых двухсистемных электропоездов серии ЭС1, поскольку в настоящее время специализированная ремонтная база для такого моторвагонного подвижного состава отсутствует. В зависимости от объема капиталовложений здесь возможны разные варианты решения данного вопроса как относительно места размещения, так и строительства нового или использования имеющихся депо.

Таблица 2

Расчетные показатели использования двухсистемного электропоезда серии ЭС1 «Ласточка» на участке Барнаул – Новосибирск

Показатель	Значение
Масса состава, т	260
Техническая скорость, км/ч	78,62
Участковая скорость, км/ч	71,25
Коэффициент участковой скорости	0,91
Тонно-километровая работа, 10^4 т·км бр.	5,93
Объем потребленной энергии, кВт·ч	2034
Объем возвращенной энергии при рекуперации, кВт·ч	158
Удельный расход, кВт·ч/ 10^4 т·км бр.	343
Удельная рекуперация, кВт·ч/ 10^4 т·км бр.	26,64
Результирующий удельный расход, кВт·ч/ 10^4 т·км бр.	316,36
Доля рекуперации, %	7,76

Таким образом использование новых двухсистемных электропоездов серии ЭС1 «Ласточка» безусловно является перспективным направлением развития пригородного сообщения на Западно-Сибирской железной дороге, позволяющим сократить общее время следования, а также существенно улучшить эксплуатационные показатели. Реализация проекта внедрения самого

современного скоростного подвижного состава – по безопасности, комфорту и качеству услуг пассажирам на борту поезда – даст «толчок» повышению мобильности населения, будет способствовать укреплению социальных, культурных и деловых связей региона.

Список литературы

1. Стратегия научно-технологического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2025 года. «Белая книга». – Москва, 2015. – 63 с. – Текст : электронный // ОАО «РЖД» : официальный сайт. – URL: http://www.rzd-expo.ru/innovation/BelKniga_2015.pdf (дата обращения: 04.10.2020).
2. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения) // ОАО «РЖД» : официальный сайт. – URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396. – Текст : электронный.
3. Бакланов, А. А. Эффективность применения электровозов двойного питания серии 2ЭВ120 на полигоне Междуреченск – Входная / А. А. Бакланов, Н. В. Есин, А. П. Шиляков. – Текст : непосредственный // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2016. – С. 22–28.
4. Скоростной электропоезд ЭС1 «Ласточка» : учебное пособие / А. Ю. Слизов [и др.] ; под ред. А. В. Ширяева. – Москва : Автограф, 2015. – 235 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бакланов Александр Алексеевич

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: aleksbakl@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTORS

Baklanov Alexandr Alexeevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Cand. Eng. Sci., Associate Professor
of the department «Rolling stock of
electric Railways» OSTU.
Phone: +7 (3812) 31-34-19.
E-mail: aleksbakl@mail.ru.

Спиридонов Сергей Владимирович
Западно-Сибирская дирекция
моторвагонного подвижного состава.
630132, г. Новосибирск, ул. Дмитрия
Шамшурина, д. 47/а.
Начальник Западно-Сибирской
дирекции моторвагонного подвижного
состава ОАО «РЖД».
Тел.: +7 (3832) 29-45-97.
E-mail: dmv-BlinovaAY@wsr.ru.

Spiridonov Sergey Vladimirovich
West Siberian Directorate of Multiple Unit
Rolling Stock.
630004, Novosibirsk, st. Dmitry Shamshurin,
47/a.
Head of the West Siberian Directorate of
Multiple Unit Rolling Stock, Russian Railways.
Phone: +7 (3832) 29-45-97.
E-mail: dmv-BlinovaAY@wsr.ru.

Шиляков 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.: (3812) 31-34-19.
E-mail: ShilyakovAP@omgups.ru.

Shilyakov Andrey Petrovich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Ph. D., associate professor of the department
«Rolling stock of electric railways» OSTU.
Phone: (3812) 31-34-19.
E-mail: ShilyakovAP@omgups.ru.

УДК 629.4

М. М. Никифоров

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

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ И ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ

В статье рассмотрен вопрос оценки эффективности применения рекуперативного торможения и использования энергии рекуперации на участках железных дорог. Перечислены факторы, оказывающие влияние на возможность применения рекуперативного торможения. Показана необходимость учитывать потребление энергии рекуперации на собственные нужды электроподвижного состава. Дан перечень эксплуатационных факторов, влияющих на эффективность использования энергии рекуперации. Предложены показатели-коэффициенты для оценки эффективности использования энергии рекуперации. Представлен обобщенный алгоритм расчета эффективности использования энергии рекуперации для любого участка железной дороги по любому из указанных показателей-коэффициентов.

Ключевые слова: тяга поездов, рекуперативное торможение, энергия рекуперации, влияющие факторы.

GENERAL PRINCIPLES FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF USING REGENERATIVE BRAKING AND REGENERATIVE ENERGY

The article considers the issue of assessing the effectiveness of the use of regenerative braking and the use of regenerative energy on railway sections. The factors influencing the possibility of using regenerative braking are listed. The need to take into account the consumption of recuperation energy for the auxiliary needs of electric rolling stock is shown. A list of operational factors affecting the efficiency of using the recuperation energy is given. Indicators-coefficients are proposed for assessing the efficiency of the use of recuperation energy. A generalized algorithm for calculating the efficiency of using recuperation energy for any section of the railway is presented according to any of the indicated coefficients.

Keywords: train traction, regenerative braking, regenerative energy, influencing factors.

В соответствии с положениями действующей Энергетической стратегии ОАО «Российские железные дороги» [1] повышение эффективности использования энергии рекуперации относится к одному из наиболее значимых мероприятий в части ресурсосбережения на железнодорожном транспорте. Исследования по оценке потенциала повышения энергоэффективности электротяги, проведенные на сети железных дорог, показали, что реализация комплекса мероприятий, направленных на повышение эффективности использования рекуперативного торможения и энергии рекуперации, обеспечивает получение 50,4 % от суммарного потенциала энергосбережения в системе тягового электроснабжения и на электроподвижном составе [2].

В ОАО «Российские железные дороги» в качестве показателя оценки эффективности применения рекуперативного торможения принято абсолютное значение объема энергии рекуперации, возвращенной в контактную сеть по счетчикам электроподвижного состава. Динамика объемов рекуперации по сети железных дорог ОАО «Российские железные дороги» приведена на рисунок 1.

Проведенные исследования показывают, что существует взаимное влияние параметров и характеристик элементов системы тягового электроснабжения и объема возвращаемой энергии рекуперации. Изменения в системе тягового электроснабжения для любого конкретного участка железной дороги приводят к изменению объема возвращаемой энергии рекуперации [3], а

применение или неприменение машинистами рекуперативного торможения оказывает влияние на уровень потерь электрической энергии в системе тягового электроснабжения [4]. В настоящее время разработаны специализированные методические подходы к оценке эффективности применения рекуперативного торможения и использования энергии рекуперации [5 – 8].

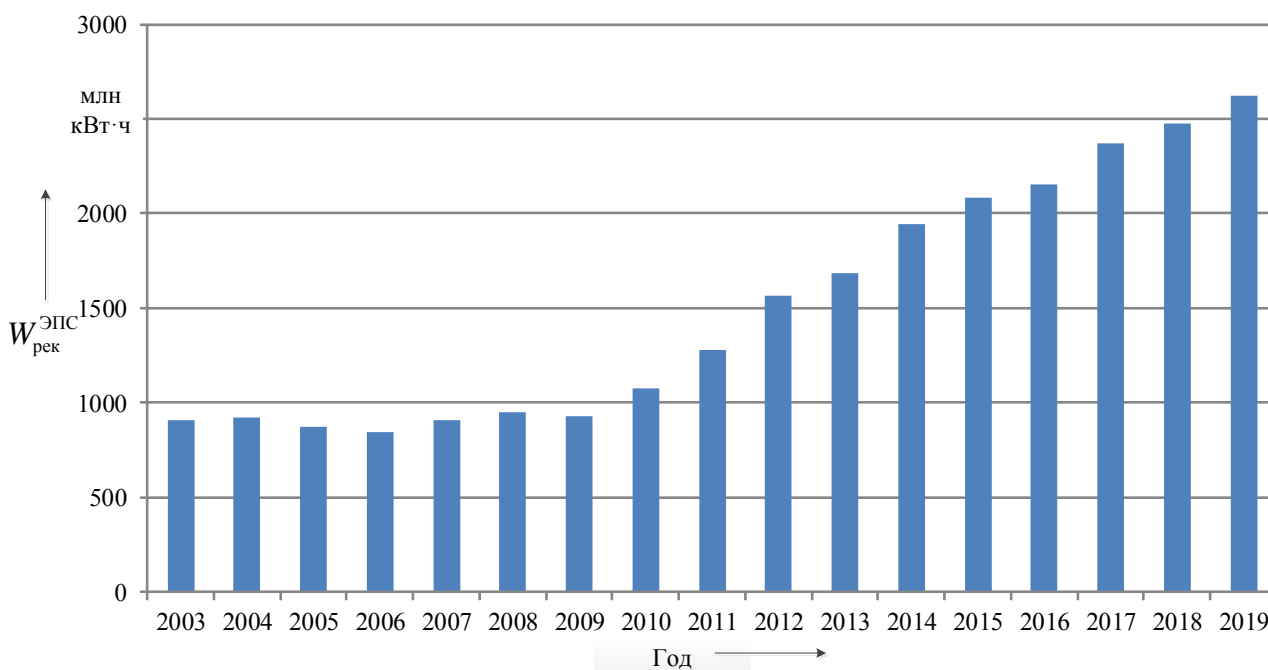


Рисунок 1 – Динамика объемов рекуперации по сети железных дорог ОАО «РЖД»

На возможность применения рекуперативного торможения и эффективность использования энергии рекуперации в первую очередь оказывают влияние:

- наличие на участке потребителей возвращенной энергии рекуперации – электроподвижного состава, движущегося в режиме тяги, выпрямительно-инверторных преобразователей на тяговых подстанциях постоянного тока, накопителей электроэнергии на постах секционирования и др.;
- схемы питания межподстанционных зон;
- типы контактной подвески на участке;
- неравномерность тонно-километровой работы в четном и нечетном направлениях;
- уровень напряжения холостого хода на шинах тяговых подстанций.

До настоящего времени при оценке эффективности использования энергии рекуперации не учитывалось ее потребление на собственные нужды электроподвижного состава, так как данная энергия не учитывается счетчиками рекуперации, но при этом снижает потребление электроэнергии на тягу поездов.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для обоснованной оценки эффективности использования энергии рекуперации по участкам железных дорог необходимо:

1) сформировать математическую модель работы электрифицированного участка, основанной на имитационном моделировании тяговых расчетов, графиков движения поездов и электрических расчетов системы тягового электроснабжения;

2) оценить влияние и взаимовлияние факторов, определяющих эффективность рекуперации на основе расчетов, выполненных по разработанной математической модели работы электрифицированного участка;

3) разработать алгоритмы и методы оценки эффективности использования энергии рекуперации на собственные нужды рекуперирующего электроподвижного состава;

4) разработать методологию оценки разности потерь энергии в системе тягового электроснабжения в случаях с применением рекуперации на участке и без его применения.

Основными эксплуатационными факторами, влияющими на эффективность использования энергии рекуперации, являются:

- средние массы поездов по направлениям движения (четное, нечетное);
- техническая и участковая скорость движения на участке по видам движения (грузовое, пассажирское, пригородное);
- суммарные размеры движения на участке;
- доля или количество грузовых поездов в общих размерах движения.

Оценка эффективности использования энергии рекуперации может осуществляться с помощью следующих показателей-коэффициентов:

- эффективности использования энергии рекуперации;
- возврата энергии рекуперации на тяговые подстанции;
- потерь энергии рекуперации в преобразовательных трансформаторах тяговых подстанций.

С помощью этих же показателей-коэффициентов выполняется оценка влияния характеристик и параметров системы тягового электроснабжения на эффективность использования энергии рекуперации.

В общем виде алгоритм расчета эффективности использования энергии рекуперации для любого участка железной дороги по любому из указанных показателей-коэффициентов включает в себя следующие шаги:

- 1) анализ и обработка исходных данных по участкам;
- 2) подготовительные расчеты;
- 3) расчет эффективности использования энергии рекуперации на расчетных участках;
- 4) составление сводных таблиц эффективности использования энергии рекуперации по всем расчетным участкам железных дорог;
- 5) оценка эффективности использования энергии рекуперации на сети железных дорог.

Предложенная методология оценки эффективности использования энергии рекуперации позволяет аналитическим путем, без затрат на оснащение участков дополнительной измерительной техникой выполнить оценку работы системы тягового электроснабжения, организации движения поездов, работы локомотивного хозяйства с целью принятия управленческих и организационных решений по обоснованной интенсификации применения рекуперативного торможения. Это в свою очередь может привести к существенному повышению эффективности перевозочного процесса на железных дорогах ОАО «РЖД».

Анализ использования энергии рекуперации показал, что наиболее эффективным вариантом ее использования является потребление на собственные нужды выработавшей ее подвижной единицы, а наименее эффективным – возврат энергии рекуперации в систему внешнего электроснабжения.

Объем рекуперации за вычетом ее потерь и с учетом разности потерь в системе тягового электроснабжения в случаях с применением рекуперации и без ее применения является показателем сокращения потребления электроэнергии по счетчикам тяговых подстанций, а значит, потребления электроэнергии, купленной ОАО «Российские железные дороги» у энергоснабжающих организаций, что и позволяет делать выводы об эффективности применения рекуперативного торможения.

Список литературы

1. Стратегия научно-технологического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2025 года. «Белая книга». – Москва, 2015. – 63 с. – Текст : электронный // ОАО «РЖД» : официальный сайт. – URL: http://www.rzd-expo.ru/innovation/BelKniga_2015.pdf (дата обращения: 04.10.2020).
2. Черемисин, В. Т. Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров. – Текст : непосредственный // Инновационные проекты и новые технологии в образовании, промышленности и на транспорте : материалы науч.-практ. конф. / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2012. – С. 9–15.
3. Никифоров, М. М. Влияние параметров и режимов работы системы тягового электроснабжения на эффективность использования энергии рекуперации / М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм, В. И. Гутников. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2017. – № 1 (29). – С. 74–90.
4. Никифоров, М. М. Влияние энергии рекуперации на уровень потерь в системе тягового электроснабжения / М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2017. – № 2 (53). – С. 55–60.
5. Никифоров, М. М. Методика оценки потенциала энергоэффективности применения рекуперативного торможения // М. М. Никифоров, А. Л. Каштанов, В. А. Кандаев. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2012. – № 1 (9). – С. 72–78.
6. Вильгельм, А. С. Апробация расчетной модели системы тягового электроснабжения железных дорог постоянного тока для оценки потенциала энергоэффективности рекуперативного торможения / А. С. Вильгельм, В. И. Гутников, М. М. Никифоров. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2014. – № 1 (17). – С. 50–57.
7. Черемисин, В. Т. Основные положения методики оценки эффективности использования энергии рекуперации / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм. – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 1 (65). – С. 114–120.
8. Черемисин, В. Т. Методика оценки использования энергии рекуперации / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм. – Текст : непосредственный // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 1 (74). – С. 34 – 45.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Никифоров Михаил Михайлович

Омский государственный университет путей
сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, заместитель
директора Научно-исследовательского

института энергосбережения на
железнодорожном транспорте ОмГУПС.

Тел.: (381-2) 44-39-23.

E-mail: nikiforovmm@rambler.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Nikiforov Mikhail Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Cand.Tech.Sci, deputy director, Research
Institute for Energy Efficiency in Railway
Transport OSTU.

Phone: (381-2) 44-39-23.

E-mail: nikiforovmm@rambler.ru.

УДК 629.42:629.4.054, 625.28

О. С. Аблялимов

Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТУ),

г. Ташкент, Республика Узбекистан

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

Обозначены основные требования и принципы расчёта, предназначенные и необходимые для совершенствования существующих методов нормирования расхода энергии на тягу поездов. Приведены результаты сравнительной точности нормирования разными методами на некоторых реальных участках Узбекской железной дороги.

Ключевые слова: исследование, результат, грузовой поезд, метод, расход энергии, маршрут машиниста, перевозочная работа, нормирование, локомотив.

Oleg S. Ablyalimov

Tashkent state transport university (TSTU), Tashkent, the Republik of Uzbekistan

WAYS TO IMPROVE THE NORMALIZATION SYSTEM OF CONSUMPTION ENERGY FOR TRACTION OF TRAINS

The basic requirements and principles of calculation are indicated, intended and necessary for improving the existing methods of regulation of energy consumption for train traction. The results of the comparative accuracy of rationing by different methods on some real sections of the Uzbek railway are presented.

Keywords: research, result, freight train, method, energy consumption, driver's route, transportation work, rationing, locomotive.

При использовании существующих методов нормирования расхода энергии в практических условиях работы локомотивных депо для обработки маршрутов машиниста в группе оперативного учёта, необходимо быстро и с достаточно высокой точностью определить для самых разнообразных условий перевозочной работы локомотивов, отмеченных в маршрутах машиниста, норму расхода, которая должна быть технически и реально оправданной. Разнообразие видов указанной работы, условий её выполнения, колебания веса (массы) составов, числа осей в составе, времени хода поезда и прочих составляющих перевозочного процесса значительно усложняет решение поставленной задачи и затрудняет широкое распространение предложенных методов нормирования.

Нормирование следует рассматривать как составную часть комплекса вопросов, направленных на улучшение использования энергии. Целью нормирования с одной стороны является внедрение технически - обоснованных норм расхода энергии, учитывающих возможности использования соответствующих резервов снижения расхода энергии, а с другой – разработку и проведение в конкретных условиях необходимой работы по обеспечению выполнения установленных норм всеми локомотивными бригадами.

Обеспечение систематического и реально обоснованного снижения расхода топливно – энергетических ресурсов на тягу поездов при этом и будет практически выполнением этой части комплексного плана развития и модернизации железнодорожной отрасли Узбекистана.

Правильное нормирование помогает производить анализы фактического расхода энергии, обоснованно объяснять причины пережога или экономии, стимулировать борьбу за достижение наибольшей эффективности использования энергии.

Нормой расхода следует считать установленный принятым методом уровень расхода на тот или иной объём выполненной перевозочной работы локомотивов, который является технически - обоснованным и обеспечивается в данных условиях состоянием материально – технической базы Мб, организации работы Ор и рациональной технологией перевозочной работы (Тр). Безусловно, нормы расхода энергии должны выполняться. Выполнение норм расхода энергии обеспечивается наряду с соответствующим состоянием материально – технической базы Мб и правильной организацией работы Ор, применением рациональных режимов работы и обоснованным временем движения поезда по перегонам. Применение рациональных режимов работы, а в ряде случаев и выбор оптимального времени хода поезда является

обязательным условием совершенствования метода нормирования, поэтому установление норм расхода энергии является составной частью проблемы оптимизации перевозочной работы локомотивов.

Нормирование расхода энергии на перевозочную работу локомотивов по данным маршрутов машиниста является элементом оперативной деятельности локомотивных депо, значительной по объёму выполнения работы и важной по своим последствиям. Поэтому любая методика (система) нормирования должна оцениваться в первую очередь по достоверности норм, пригодности и простоте использования её в производственных условиях цеха эксплуатации локомотивного комплекса железных дорог.

Метод или система нормирования должны позволять быстрое и достаточно точное определение расхода энергии на тягу поездов для любых сложившихся условий конкретной поездки, а также учитывать возможность корректирования норм соответствующим образом в связи с изменениями условий перевозочной работы локомотивов, а именно: внедрения модернизации, изменения серии локомотива, типа вагонов и прочее.

Разработка методики или системы нормирования расхода энергии в условиях эксплуатации с учётом всех вышеуказанных положений является весьма сложным делом, требующим не только решения ряда технических и технологических вопросов, но и выполнения большого объёма однотипных и точных расчётов, выполнить которые можно лишь на ЭВМ [1,2].

Комплекс вопросов по нормированию расхода энергии на тягу поездов включает следующие принципы расчёта:

- разработку алгоритмов с учётом вышеуказанных основных положений совершенствования методики или системы нормирования, при этом должно учитываться возможность использования оптимальных режимов перевозочной работы локомотивов;
- разработку необходимого комплекса программ для расчётов ЭВМ;
- организацию соответствующего порядка (последовательности) расчёта норм и подготовки, удобных для практического использования таблиц нормирования, формул подсчёта норм и так далее;
- организацию практического нормирования в локомотивных депо, РЖУ (НОД) и на дороге, в целом с учётом анализа результатов нормирования и их оценкой.

В ТашИИТе разработан новый метод нормирования [3,4], который исходит из рассмотренных выше принципов расчёта и использования ЭВМ.

Проведённое нами сравнительное нормирование для данных одного из маршрутов машиниста различными методами (таблица 1 и таблица 2 [5]) дало весьма различные результаты нормирования и затраты времени на подсчёт нормы.

Несовершенство существующих методов подтверждается рядом других исследований [6,7 и другие].

Таблица 1

Результаты нормирования и примерная затрата времени на обработку одного маршрута машиниста для одной поездки по участку Д - С, тепловоз 2ТЭ10Л

Метод нормирования	Расход по норме, кг	Соотношение результата к E_{ϕ} , %	Время на обработку одного маршрута, мин.	Расход на 100 маршрутов чел. часов
ЦНИИ МПС	1850	112,0	15,0	25,0
ЦТ МПС	1848	111,0	5,0	8,3
Энергетический (ДИИТ)	1710	103,0	23,0	38,3
Депо Помощная	1820	110,0	9,0	15,0
ТашИИТ	1680	101,3	0,5	0,83
Фактический расход натурального дизельного топлива E_{ϕ} для средних условий перевозочной работы локомотивов				
E_{ϕ} , кг	1660	100	-	-

Примечание. На участке железной дороги Д - С локомотивного депо С по данным отчётности ТХО1 и маршрутам машиниста за один из месяцев для варианта - груженые поезда были выявлены средние значения величин: веса состава Q_p , числа осей m_p в составе, времени движения t_p , число остановок z_p и время стоянок t_c . Имея для этих условий по данным ТХО1 фактический удельный расход e_{ϕ} , кг/изм находим $E_{\phi} = e_{\phi} \cdot Q_p L \cdot 10^{-4}$, кг и затем, для этих же средних условий Q_p , m_p , t_p , z_p , t_c и так далее, разными методами был найден расход натурального дизельного топлива по норме.

В таблице 2 приняты следующие обозначения:

L – длина участка железной дороги, км;

$i_{\text{ксп}}$ – средневзвешенный по профилю пути подъём на принятом участке железной дороги, ‰;

I – количество измерителей, 10^4 т км брутто;

K_t – температурный коэффициент;

E_o – расход натурального дизельного топлива на станциях оборота локомотивных бригад;

e_{ϕ} – фактический расход натурального дизельного топлива на измеритель перевозочной работы локомотивов, кг/ 10^4 т км брутто.

Таблица 2

Результаты сравнительной точности нормирования различными методами
на участке К – Л (нечётное) локомотивного депо К, тепловоз 2ТЭ10Л

Вариант и средние условия перевозочной работы	Метод нормирования	Расход по норме метода E_m , кг	Соотношение результата к величине E_ϕ , %	Время на обработку одного маршрута машиниста, мин
$L = 113,8$ км; $i_{\text{кр}} = 0,028$ ‰; $Q_p = 3080$ т; $m_p = 207$ оси; $t_p = 2,5$ ч; $z_p = 3$ ост; $t_c = 1,2$ ч; $I = 35$; $K_t = 1,0$; $E_o = 25$ кг; $e_\phi = 29$ кг/10 ⁴ т км брутто	ЦТ МПС	1240	122,0	10,0
	Энергетический (ДИИТ)	960	94,5	20,0
	Статистический метод депо К	1190	117,1	0,8
	ТашИИТ	988	97,2	1,0
Фактический расход натурального дизельного топлива				
$E_\phi = e_\phi \cdot Q_p \cdot L \cdot 10^{-4}$, кг		1016	100	-

Можно сказать, что ни один из существующих методов нормирования расхода энергии не нашёл повсеместного распространения в практике работы цеха эксплуатации локомотивного комплекса ввиду неточности результатов нормирования и большой затраты времени на обработку маршрутов машиниста.

Отметим также, что ни в одном из предложенных (рассмотренных нами) методов нормирования не приводятся зависимости, связывающие расход энергии с режимом ведения поезда, который зависит от условий перевозочной работы локомотивов и оказывает существенное влияние на величину расхода топлива – энергетических ресурсов на тягу поездов.

Таким образом, отсутствие для практического использования удобного и корректного метода нормирования, отвечающего всем вышеприведённым основным требованиям и указанным принципам расчёта, говорит о целесообразности и необходимости дальнейшего продолжения исследований, направленных на разработку нового метода нормирования расхода энергии на тягу поездов.

Список литературы

1. Толкачёв, А. В. Нормирование расхода топлива тепловозами на ЭЦВМ / А. В. Толкачёв // Научно - технический отчёт. Раздел I. Расчёты

дифференцированных норм расхода топлива / Ташкентский ин-т. инж. ж-д трансп. – Ташкент, 1969. – 77 с. – Текст : непосредственный.

2. Толкачев, А. В. Расчёт дифференцированных и средних норм расхода топлива тепловозами с помощью ЭЦВМ / А. В. Толкачёв. Текст : непосредственный // Повышение эффективности применения и использования средств вычислительной техники на железнодорожном транспорте : тезисы докладов. – Москва : Транспорт, 1971. – С. 57–59.

3. Толкачёв, А. В. Нормирование расхода топлива тепловозами с использованием ЭВМ / А. В. Толкачёв. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1972. – Выпуск 88. – С. 87–97.

4. Толкачёв, А. В. Расчёты норм расхода энергии на перевозочную работу локомотивов методом расчленения / А. В. Толкачёв. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1973. – Выпуск 100. – С. 43–54.

5. Аблялимов, О. С. Эффективность методов нормирования расхода энергии на тягу поездов / А. В. Толкачёв, О. С. Аблялимов. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1974. – Выпуск 105. – С. 27–35.

6. Григорьев, С. Н. К вопросу об оценке методов нормирования расхода топлива для тепловозов / С. Н. Григорьев. – Текст : непосредственный // Труды МИИТ. – 1964. – Выпуск 107. – С. 97–103.

7. Новиков, А. П. Сравнительная оценка некоторых методов нормирования расхода топлива для грузовых тепловозов / А. П. Новиков, Д. К. Сиваев. – Текст : непосредственный // Тр. МИИТ. – 1971. – Выпуск 363. – С. 87–93.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Аблялимов Олег Сергеевич

Ташкентский государственный
транспортный университет (ТГТУ).
ул. Элтузар, д. 25, г. Ташкент, 100167,
Республика Узбекистан.

Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, и.о. профессора
кафедры «Локомотивы и локомотивное
хозяйство» ТГТУ.

Тел. +998371-254-52-16.

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Tashkent state transport university (TSTU).
25, Eltuzar str., Tashkent, 100167,
the Republik of Uzbekistan.

Doctor of philosophy, chief scientific worker,
acting professor of the chair «Locomotives
and locomotive, economy» TSTU.

Phone: +998371-254-52-16.

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

П. Н. Блинов

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

ОЦЕНКА ТЯГОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕПЛОВОЗА ТЭМ14 ПРИ ДВИЖЕНИИ С НИЗКОЙ СКОРОСТЬЮ ПО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ВЕСАМ

В работе оценена возможность ведения нефтеналивного поезда по железнодорожному участку необщего пользования с расположенными на нем железнодорожными вагонными весами, для взвешивания цистерн с нефтепродуктами, тепловозом ТЭМ14 со скоростью движения ниже расчетной с целью безостановочного измерения веса вагонов. В работе использованы методы тяговых расчетов, системного анализа, методы теоретического познания (формализация), общелогические методы и приёмы исследования (анализ, обобщение, классификация, аналогия).

Ключевые слова: тепловоз, тяговые расчеты, режимы работы, позиции контроллера машиниста, скорость движения, допустимый ток генератора, температура перегрева.

Pavel N. Blinov

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

ASSESSMENT OF THE TRACTION CAPABILITIES OF THE TEM14 LOCOMOTIVE WHEN DRIVING AT LOW SPEED ON THE RAILWAY SCALES

The work assesses the possibility of running an oil train on the non-performing railway station with the railway wagon weights located on it, for weighing tanks with petroleum products, diesel locomotive TEM14 at a speed below the estimated for the purpose of non-stop measurement of the weight of the wagons. The work uses methods of traction calculations, system analysis, methods of theoretical cognition (formalization), general methods and methods of research (analysis, generalization, classification, analogy).

Keywords: locomotive, traction calculations, modes of operation, position of the controller of the machinist, speed of movement, allowable current of the generator, temperature of overheating.

Цель исследования состоит в обосновании возможности ведения нефтеналивного поезда по железнодорожному участку необщего пользования ОАО «Газпромнефть-ОМПЗ», примыкающему к станции Комбинатская Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», с расположенными на нем железнодорожными вагонными весами для взвешивания цистерн с нефтепродуктами, тепловозом ТЭМ14 с равномерной скоростью 7 км/ч с целью безостановочного измерения веса вагонов.

Исходными данными для исследования являются:

- серия локомотива – ТЭМ14;
- количество локомотивов в составе – 2 секции;
- тип вагонов – цистерны для нефтепродукта 4-х осные;
- количество вагонов – 76 цистерн;
- масса одного вагона брутто – 80 т;
- скорость движения поезда по станционным (подъездным) путям до 20 км/ч, по весам – до 7 км/ч;
- продольный профиль пути по всему участку следования поезда с указанием места расположения железнодорожных вагонных весов.

В основу работы положены основные положения «Правил тяговых расчетов для поездной работы» [2, 3].

Спрямление профиля выполнено по методике, представленной в [1].

В работе использован профиль пути, составленный по материалам съемки, выполненной и представленной специалистами Закрытого акционерного общества «ЭПАК-Сервис».

Потребная сила тяги локомотива ТЭМ14 при движении по заданному участку с равномерной скоростью 7 км/ч с нефтеналивным поездом может быть найдена по формуле для определения массы поезда [3].

Из формулы определения массы поезда после преобразований получим:

$$F_{кр}^{ном} = Q(w_0'' + i_p \cdot g) + P(w_0' + i_p \cdot g), \quad (1)$$

где Q – масса поезда, т;

w_0' , w_0'' – основное удельное сопротивление движению локомотива и вагонов, соответственно, Н/т;

i_p – крутизна расчетного подъема, ‰;

$g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с².

Основное удельное сопротивление движению локомотива w_0' подсчитывается для тепловозов на звеньевом пути по формуле (15) ПТР [3]:

$$w_o' = 18,6 + 0,01V + 0,0029V^2, \quad (2)$$

где V – скорость движения поезда, км/ч;

$$w_o' = 18,6 + 0,01 \cdot 7 + 0,0029 \cdot 7^2 = 18,81 \text{ Н/т.}$$

Основное удельное сопротивление движению состава w_o'' , состоящего из четырехосных цистерн, определяется по формуле (2) ПТР [3]:

$$w_o'' = 6,3 + \frac{28,7 + 0,464V + 0,027V^2}{q_o}, \quad (3)$$

где q_o – осевая нагрузка вагонов поезда, т:

$$q_o = \frac{q_{\delta p}}{n_o}, \quad (4)$$

где $q_{\delta p}$ – масса вагонов поезда брутто, т;

n_o – количество осей в вагоне.

$$q_o = \frac{80}{4} = 20 \text{ т.}$$

Тогда

$$w_o'' = 6,3 + \frac{28,7 + 0,464 \cdot 7 + 0,027 \cdot 7^2}{20} = 7,96 \text{ Н/т.}$$

Масса состава Q определится по формуле, т:

$$Q = q_{\delta p} n, \quad (5)$$

где n – количество вагонов в составе.

$$Q = 80 \cdot 76 = 6080 \text{ т.}$$

Для тепловоза ТЭМ14 расчетная масса локомотива P составляет 180 т, тогда потребная расчетная сила тяги локомотива с учетом (1) будет равна:

$$F_{кр}^{номр} = 6080 \cdot (7,96 + 2,0 \cdot 9,81) + 180 \cdot (18,81 + 2,0 \cdot 9,81) = 169,9 \approx 170 \text{ кН.}$$

Режимы работы тепловоза для обеспечения такой силы тяги могут быть определены по тяговой характеристике тепловоза ТЭМ14, которая представлена на рисунке 1 для всех позиций контроллера машиниста [3].

Как видно из рисунка 1 режим работы тепловоза определяется точкой пересечения лучей, проведенных из точек, соответствующих силе тяги 85 кН и скорости 7 км/ч. Эта точка соответствует первой-второй позиции контроллера машиниста при работе двумя секциями и третьей-четвертой – при работе одной секцией тепловоза.

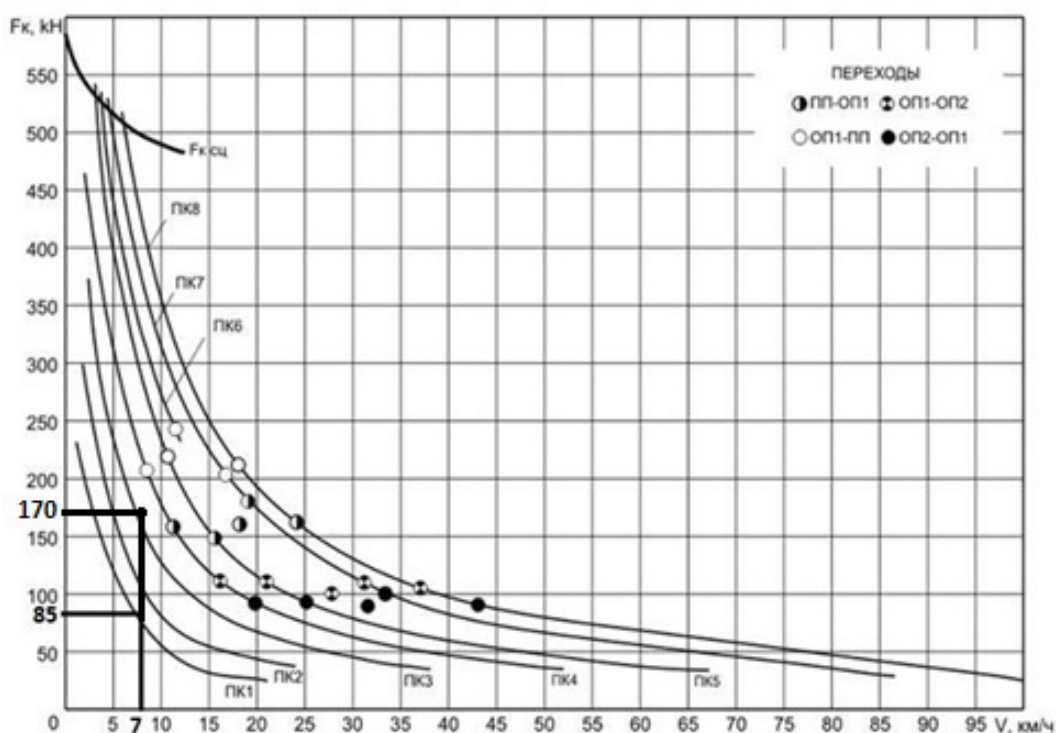


Рисунок 1 – Тяговая характеристика тепловоза ТЭМ14

Для заданной скорости на четвертой позиции контроллера машиниста определится максимальное значение тока тягового генератора тепловоза [4], которое составит не более 2500 А. При этом наибольший выпрямленный ток в продолжительном режиме тягового генератора тепловоза ТЭМ14 составляет 3600 А.

На тепловозе ТЭМ14 применяются ТЭД типа ЭД133А или ЭДУ133П, имеющие основные технические характеристики, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры технические характеристики ТЭД тепловоза ТЭМ14

Показатель	Значение показателя
Мощность, кВт	190
Напряжение длительное, В	225
Напряжение максимальное, В	510
Ток длительный, А	890
Ток максимальный при трогании с места, А	1160
Частота вращения максимальная, мин ⁻¹	2320

Таким образом, из данных таблицы 1 видно, что найденное наибольшее значение тока ТЭД тепловоза ТЭМ14 при движении по участку с

железнодорожными весами со скоростью 7 км/ч, равное $2500/4 = 625$ А, не превысит максимально допустимое значение тока для данного ТЭД, равное 890 А.

Кроме этого, очевидно, что имеется запас по максимальному току примерно 30 %, обеспечивающий надежную работу тепловоза ТЭМ14 даже с пониженными техническими характеристиками.

Проверка на нагревание электрических машин тепловозов выполняется только в том случае, если вводится ограничение скорости движения на труднейших подъемах ниже расчетных или предусмотрено снижение скорости движения поезда менее скорости продолжительного режима. В нашем случае рассматривается снижение скорости движения поезда до 7 км/ч при скорости продолжительного режима равной 10,5 км/ч.

Согласно ПТР [3] для тепловоза ТЭМ14 на нагревание проверяются тяговые электродвигатели путем определения превышения температуры обмоток якоря над температурой охлаждающего воздуха.

Движение нашего поезда по заданному участку с железнодорожными весами осуществляется с равномерной скоростью 7 км/ч, т.е. с постоянным током тягового генератора 2500 А.

Для определения температуры якорей ТЭД воспользуемся формулой (156) ПТР и тепловыми характеристиками ТЭД ЭД133А.

$$\tau = \tau_{\infty} \left(1 - e^{\frac{-\Delta t}{T}}\right) + \tau_0 e^{\frac{-\Delta t}{T}}, \quad (6)$$

где τ – превышение температуры обмоток якоря над температурой охлаждающего воздуха, °С;

e – основание натуральных логарифмов;

τ_{∞} – температура перегрева, которая установилась бы при длительном действии данной нагрузки, °С;

T – тепловая постоянная времени, указывающая то условное время, за которое нагрелась бы обмотка до окончательной температуры (τ_{∞}) при условии полного отсутствия теплоотдачи, мин;

τ_0 – превышение температуры обмотки в начальный момент времени (начальный перегрев), °С.

Анализ тепловых характеристик ТЭД ЭД133А показывает, что при токе ТЭД равном 625 А температура перегрева τ_{∞} будет равна 18°С, а тепловая постоянная времени T составит 140 мин.

Подставив указанные значения тепловых характеристик в формулу (6), приняв начальный перегрев τ_0 равным 15°C , получим, что в течение 120 минут непрерывной работы тепловоза под рассчитанной нагрузкой превышение температуры обмоток якоря над температурой охлаждающего воздуха τ составит:

$$\tau = 18 \left(1 - e^{\frac{-120}{140}} \right) + 15 e^{\frac{-120}{140}} = 16,4^\circ\text{C}$$

Таким образом, максимальное превышение температуры обмоток якоря над температурой охлаждающего воздуха не превысит $15\text{-}20^\circ\text{C}$.

Представленные результаты определения температуры обмоток тяговых электродвигателей тепловоза ТЭМ14 показывают, что при движении по заданному участку с железнодорожными весами с равномерной скоростью 7 км/ч перегрева тяговых электродвигателей выше допустимой температуры, равной согласно ПТР $\tau_{\text{доп}} = 160^\circ\text{C}$ [3], не наблюдается.

Таким образом, по железнодорожному участку необщего пользования ОАО «Газпромнефть-ОНПЗ», примыкающему к станции Комбинатская Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», с расположенными на нем железнодорожными вагонными весами для взвешивания цистерн с нефтепродуктами, возможно ведение поезда тепловозом ТЭМ14 с равномерной скоростью 7 км/ч .

Список литературы

1. Кузьмич, В. Д. Теория локомотивной тяги : учебник / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель. – Москва : Маршрут, 2005. – 448 с. – Текст : непосредственный.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы : Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта : – Москва : Транспорт, 1985. – 287с. – Текст : непосредственный.
3. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 № 867р в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 09.02.2018 № 182/р : Екатеринбург : ТД «УралЮрИздат», 2020. – 514 с. – Текст : непосредственный.
4. Тепловоз ТЭМ14. Руководство по эксплуатации. Часть 3. Техническое обслуживание и текущий ремонт : Екатеринбург : ТД «УралЮрИздат», 2018. – 260 с. – Текст : непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Блинов Павел Николаевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,

Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент,

директор института наземных
транспортных систем ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-04-09.

E-mail: blinovpn@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Blinov Pavel Nikolayevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046,

the Russian Federation.

Ph. D. in Engineering, Associate Professor,

Director of the Institute of terrestrial transport
systems OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-04-09.

E-mail: blinovpn@mail.ru.

УДК 629.42:629.4.054, 625.28

О. С. Абляимов

Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТУ),

г. Ташкент, Республика Узбекистан

РАСЧЛЕНЕНИЕ РАСХОДА ЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ

Обоснована возможность расчленения общего расхода энергии локомотивами на соответствующие составляющие в зависимости от условий организации железнодорожных перевозок грузов и пассажиров, влияющих на энергетическую эффективность перевозочной работы локомотивов.

Ключевые слова: исследование, результат, режим, показатель, характеристика, перевозочная работа, нормирование, локомотив, расход энергии, расчленение.

Oleg S. Ablyalimov

Tashkent state transport university (TSTU), Tashkent, the Republik of Uzbekistan

DISMEMBERMENT OF ENERGY CONSUMPTION ON TRACTION OF TRAINS DEPENDING ON THE TRANSPORTATION WORK OF LOCOMOTIVES

The possibility of dividing the total energy consumption of locomotives into the corresponding components, depending on the conditions of the organization of railway transportation of goods and passengers, affecting the energy efficiency of the transportation of locomotives has been substantiated.

Keywords: research, result, mode, indicator, characteristic, transportation work, rationing, locomotive, energy consumption, dismemberment.

Нормирование расхода энергии на тягу поездов локомотивами методом расчленения впервые был предложен в ТашИИТе [1-3], сущность которого предусматривает следующее.

Расчленение расхода энергии на тягу поездов локомотивами по тем или иным слагаемым позволяет знать куда, сколько и по каким закономерностям идёт указанный расход. Это позволяет уточнить анализ и значение слагаемых действительного расход энергии на тягу поездов локомотивами. Норма должна отражать возможности ведения процесса перевозочной работы локомотивов с наименьшими затратами энергии при оптимальной организации ведения упомянутого процесса.

Точность результатов расчёта во многом будет зависеть от возможности учёта всех факторов, от достоверности принятых исходных данных, правильности принятых в алгоритме расчёта зависимостей и точности выполнения самих расчётов.

Для выполнения приближённых расчётов в принятой области перевозочной работы локомотивов важным является выбор необходимых усреднённых характеристик режимов ведения поезда, точность их выявления и допустимость их распространения на принятую область указанной работы при нормировании расхода энергии.

Рассмотрим возможность расчленения общего расхода энергии на соответствующие составляющие, в зависимости от факторов, влияющих на расход энергии.

Расход энергии за период движения поезда в пути следования того или иного варианта работы ВР складывается из расходов энергии на создание механической касательной работы локомотива и на служебные нужды за время этого периода движения.

Слагаемая расхода энергии на создание механической касательной работы локомотива за поездку определяется по такой зависимости, то есть

$$E_{\kappa} = a_E \sum \frac{A_{\kappa n}}{\eta_n} = \frac{a_e A_{\kappa}}{\eta} \quad (1)$$

где $A_{\kappa n}$ – величина касательной механической работы на шаге интегрирования, Н км (кгс км);

A_{κ} – тоже на участке, Н м (кгс км);

η_n и η – коэффициент полезного действия силовой цепи, соответственно, на шаге интегрирования и его среднее значение на участке счёта.

Порядок расчёта величин η_n и η рассмотрен в исследовании [4].

Расход энергии на создание касательной механической работы на участке можно также выразить следующей формулой

$$E_k = \sum e_k \Delta t_{px} \quad (2)$$

где e_k - мощность потока энергии направляемого на создание механической работы локомотива; принимается постоянной для выбранного интервала времени Δt_{px} мин, в соответствующем интервале интегрирования. Значение e_k находят по зависимостям от позиций контроллера и скорости движения.

Величина $e_k = G_T - g_x$ кг/мин при тепловозной тяге и $e_k = U_c \cdot I_o$, Вт - для электровозной тяги (здесь U_c - напряжение в сети, В; I_o - ток электровоза, А).

На основании выражений (1) и (2) имеем зависимость - $\sum e_k \Delta t_{px} = \frac{A_k \cdot a_E}{\eta}$

откуда, при наличии данных о величинах E_k и A_k по тягово - энергетическим расчётам на ЭВМ получим средневзвешенное по пути значение коэффициента полезного действия η силовой цепи, а именно:

$$\eta = \frac{a_E A_k}{E_k} \quad (3)$$

Расчёты значений E_k , A_k и η на ЭВМ по специально разработанному алгоритму для любых условий перевозочной работы локомотивов и сочетаний величин Q , m , t и z позволяют получить полную картину изменений величины η от указанных факторов. Соответствующей обработкой полученных данных для ряда поездок варианта работы ВР можно выявить зависимости $\eta(Q, m, t, z)$.

Для подсчёта расхода энергии по выражению (1) как при тепловозной тяге, так и при электровозной тяге, механическую работу локомотива следует определять через пассивные силы.

Для условия $V_n = V_k = 0$ имеем

$$A_k = A' + A'' + A_T \quad (4)$$

Составляющие (4) можно расчленить дополнительно, не нарушая возможности вести расчёты по среднему значению величины η .

Так, величину A' представляем суммой механической работы по преодолению сил основного (A'_w) и дополнительного (A'_i) сопротивления движению локомотива

$$A' = A'_w + A'_i = P_o L w'_s - P_o L i_{kc} \quad (5)$$

где $i_{\kappa c} = \frac{\sum i_{\kappa} \ell}{L}$ - средневзвешенное по пути значение приведённого уклона на участке, ‰ (Н/кН, кгс/т);

w'_s - средневзвешенное по пути основное сопротивление движению локомотива, Н/кН (кгс/т).

Аналогично для механической работы сил сопротивления состава имеем

$$A'' = A''_w + A''_i = QLw''_{os} + QLi_{\kappa c} \quad (6)$$

где w''_{os} - средневзвешенное по пути удельное основное сопротивление движению состава на участке счёта, Н/кН (кгс/т). Для каждого конкретного случая работы локомотива на участке любого варианта работы ВР, на основе точных тягово – энергетических расчётов на ЭВМ находят значение $w''_{os} = \frac{\sum w''_{oc} \cdot h_n}{L}$, при этом величина w''_{oc} - значение основного сопротивления движению состава Н/кН (кгс/т) на шаге интегрирования h_n , км при средней скорости движения V_c , км/ч на этом же шаге. Затем определяют среднюю техническую скорость движения поезда на участке счёта V_t , км/ч при среднем числе остановок z_p , выявленного по анализу фактических условий работы и соответствующее значение удельного основного сопротивления движению состава при этой скорости w''_o .

Вторая характеристика режима перевозочной работы локомотива

$$\alpha = \frac{w''_{os}}{w''_o} \quad (7)$$

На основании проведённых расчётов выявляют все необходимые зависимости величины α от значений Q , m , t и z в виде аналитических выражений.

В практических условиях известной бывает техническая скорость движения поезда по данным маршрутов машиниста, для которой можно найти значения w' и w''_o , а затем, используя полученные значения величины α , определяют средневзвешенное основное сопротивление движению состава

$$w''_{os} = \alpha w''_o \quad (8)$$

и локомотива

$$w'_s = \alpha w' \quad (9)$$

Некоторое уточнение расчётов будет, если выявление величины α делать раздельно для локомотива и состава, однако это, почти не отражается, на

точность практических результатов. Подробное исследование изменения величины α сделано в работе [5].

По данным расчётов на ЭВМ, можно показатель α также находить по выражению

$$\alpha = \frac{A'' - QL_{\kappa\kappa}}{QLw_o''} \quad (10)$$

где величина $A'' = Q \sum (w_{oc}'' + i_{\kappa\kappa}) h_n$, Н/км (кгс/км).

Для принятого в ПТР [6] общего вида формул удельного основного сопротивления движению состава вагонов получим

$$w_{os}'' = \alpha w_o'' = \alpha c + \frac{\alpha(c_o^e + c_1^e v + c_2^e + v^2)}{q_o} = \alpha c + \alpha \frac{c_v \cdot m}{Q} \quad (11)$$

где $q_o = \frac{Q}{m}$ - средняя нагрузка на рельс от оси вагона, т/ось.

При заданном времени t , величина c_v постоянная.

Окончательно получим

$$A'' = QL[\alpha c + i_{\kappa\kappa}] + \alpha c_v m L \quad (12)$$

Как видно, механическая работа A'' на конкретном участке, при заданном времени хода ($V_T = \text{пост.}$) поезда, для определенного типа вагонов будет зависеть только от веса (массы) Q состава и числа осей m в составе.

Если выявлены средние значения величин η и α за поездку, то получим расход энергии

$$E'' = \frac{a_E L}{\eta} [(\alpha c + i_{\kappa\kappa}) Q + \alpha c_v m] \quad (13)$$

Для получения соответствующих результатов по поездкам варианта работы ВР введём зависимости $\eta_Q(Q)$, $\eta_m(Q)$, $\alpha_Q(Q)$ и $\eta_m(m)$, тогда получим $E'' = E_Q'' + E_m''$.

$$E_Q'' = d_Q (\alpha_Q c + i_{\kappa\kappa}) Q \quad (14)$$

$$E_m'' = d_m \cdot d_m \cdot C_v \cdot m \quad (15)$$

Здесь обозначено $d_Q = \frac{a_E L}{\eta_Q}$ и $\frac{a_E L}{\eta_m}$

Затраты механической работы на торможения

$$A_T = (P_o + Q) \sum \varepsilon_T h_{\text{ЛТ}} \quad (16)$$

или согласно выражению (4) имеем

$$A_T = A_{\kappa} - (A' + A'') \quad (16')$$

Величина удельной тормозной силы на шаге интегрирования v_t определяется при средней скорости на этом шаге по известным формулам [6,7].

На основании данных тягово – энергетических расчётов ТЭР, выполненных на ЭВМ, можно найти значения и третьей характеристики режима перевозочной работы локомотивов по такой зависимости

$$\beta = \frac{A_t}{A_k^p} \quad (17)$$

Затем находим соответствующие зависимости $\beta_Q(Q)$, $\beta_m(m)$, $\beta_t(t)$ и $\beta_z(z)$, которыми можно пользоваться в соответствии с высказанными ранее положениями.

Таким образом, обоснованы аналитические зависимости характеристик (показателей) режима ведения поезда в зависимости от условий организации железнодорожных перевозок грузов и пассажиров, посредством которых можно представить общий расход энергии на тягу поездов в виде отдельных слагаемых (составляющих) указанного расхода.

Сказанное позволит получить простые и удобные для практического использования таблицы нормирования расхода энергии на тягу поездов для реальных условий эксплуатации.

Список литературы

1. Толкачёв, А. В. Нормирование расхода топлива тепловозами с использованием ЭВМ / А. В. Толкачёв. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1972. – Выпусе 88. – С. 87 – 97.

1. Толкачёв, А. В. Расчёты норм расхода энергии на перевозочную работу локомотивов методом расчленения / А. В. Толкачёв. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1973. – Выпуск 100. – С. 43–54.

2. Абляимов, О. С. Эффективность методов нормирования расхода энергии на тягу поездов / А. В. Толкачёв, О. С. Абляимов. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1974. – Выпуск 105. – С. 27–35.

3. Тихонов, К. К. Оптимальные ходовые скорости грузовых поездов / К. К. Тихонов. – Текст : непосредственный // Тр. МИИТ. – 1964. – Выпуск. 172. – С. 103–112.

4. Правила тяговых расчётов для поездной работы / Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с. – Текст : непосредственный.

5. Бабичков, А. М. Тяга поездов и тяговые расчёты : учебник для студентов вузов ж-д транспорта / А. М. Бабичков, П. А. Гурский, А. П. Новиков. – Москва : Транспорт, 1971. – 280 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Аблялимов Олег Сергеевич
Ташкентский государственный
транспортный университет (ТГТУ).
ул. Элтузар, д. 25, г. Ташкент, 100167,
Республика Узбекистан.
Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, и.о. профессора
кафедры «Локомотивы и локомотивное
хозяйство» ТГТУ.
Тел. +998371-254-52-16.
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ablyalimov Oleg Sergeyevich
Tashkent state transport university (TSTU).
25, Eltuzar str., Tashkent, 100167,
the Republik of Uzbekistan.
Doctor of philosophy, chief scientific worker,
acting professor of the chair «Locomotives
and locomotive, economy» TSTU.
Phone: +998371-254-52-16.
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

УДК 629.4

В. А. Нехаев, В. А. Николаев, Е. А. Самохвалов, М. Х. Минжасаров

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

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ГЛАВНОЙ ОБЛАСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА КОЛЁСНОЙ ПАРЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье изучается точность определения такой важнейшей характеристика систем дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами как границы областей параметрического резонанса, которые в такой математической системе при вполне определённых условиях обязательно возникают.

В качестве математической модели принято движение неподрессоренной массы железнодорожного экипажа по пути со шпальной неравноупругостью.

Для поиска областей параметрической неустойчивости используется метод обобщённых определителей Хилла.

Ключевые слова: железнодорожный путь, неравноупругость пути, подвижной состав, коэффициент параметрического возмущения, обобщённый определитель Хилла, область неустойчивости, форма Коши, ряды Фурье.

**Victor A. Nehaev, Victor A. Nikolaev, Evgeniy A. Samohvalov,
Marat Kh. Minzhasarov**

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

ESTIMATION OF THE ACCURACY OF CALCULATING THE MAIN REGION OF PARAMETRIC RESONANCE OF A ROLLING STOCK WHEELSET

The article studies the accuracy of determining such an important characteristic of systems of differential equations with periodic coefficients as the boundaries of parametric resonance regions, which in such a mathematical system under certain conditions necessarily arise.

As a mathematical model, the movement of an unsprung mass of a railway carriage along a track with a sleeper non-elasticity is accepted.

The method of generalized hill determinants is used to search for areas of parametric instability.

Keywords: railway track, non-elasticity of the track, rolling stock, parametric perturbation coefficient, generalized hill determinant, instability region, Cauchy form, Fourier series.

При формировании математических моделей подвижного состава обязательно нужно учитывать изменение жёсткости железнодорожного пути по его протяжённости. В этом случае дифференциальные уравнения, описывающие колебания частей подвижного состава, будут обладать переменными коэффициентами. Прежде чем решать такие уравнения необходимо убедиться в устойчивости их решения.

Уравнение движения колёсной пары по идеальному железнодорожному пути, но неравноупругому по его протяжённости, имеет вид:

$$m\ddot{z} + \beta\dot{z} + c(1 - 2\mu \cos 2\Omega t)z = -m\ddot{f}_n, \quad (1)$$

где m – «приведённая» масса колёсной пары, β – суммарный коэффициент вязкого трения в буксовом подвешивании и пути, c – суммарная жёсткость буксового подвешивания и средней жёсткости пути на рельсовом звене, μ – коэффициент параметрического возбуждения.

Разделим левую и правую части уравнения (1) на «приведённую» массу колёсной пары, получим:

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + k_0^2(1 - 2\mu \cos 2\Omega t)z = -\ddot{f}_n. \quad (2)$$

Для ответа на вопрос об устойчивости тривиального решения дифференциального уравнения (2), мы должны отбросить его правую часть, представляющую собой переносное ускорение, ибо координата z (подпрыгивание колёсной пары) отсчитывается от так называемого положения статического равновесия. Перепишем равенство (2) с учётом указанного выше обстоятельства:

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + k_0^2(1 - 2\mu \cos 2\Omega t)z = 0. \quad (3)$$

Итак, найдено известное уравнение Матьё, которое достаточно подробно изучено, и для него построена диаграмма Айнса–Стретта областей устойчивости и неустойчивости, которой можно пользоваться. Но вопрос состоит в том, что подвижной состав железных дорог представляется многостепенными математическими моделями, для которых указанной выше диаграммы не существует. Поэтому будем использовать метод обобщённых определителей Хилла [1], который основывается на факте, что одно из решений уравнения (3) на границе области неустойчивости является периодическим. Для этого перепишем (3) в векторно-матричной форме, которая позволит уже перейти к многостепенным моделям:

$$\dot{\vec{x}} = G_0 \vec{x} + G_1 \vec{x} \cos 2\Omega t. \quad (4)$$

Решение для главной (первой) области параметрического резонанса колёсной пары ищем в виде:

$$\vec{x} = \sum_{k=1}^{\infty} (\vec{a}_k \cos k\Omega t + \vec{b}_k \sin k\Omega t), \quad (5)$$

здесь индекс k изменяется на 2, т.е. $k=1, 3, 5, \dots$, $\vec{a}_k$ и $\vec{b}_k$ – векторы синусных и косинусных гармоник.

При выполнении наших исследований применим математический пакет Mathcad любой версии. На рисунке 1 показана главная (первая) область параметрического резонанса колёсной пары экипажа при учёте только одной первой гармоники.

Очевидно, что график симметричен относительно оси абсцисс, видимо, это результат того, что отыскивались корни определителя 4-го порядка. Но, с другой стороны, этот метод даёт результаты даже в диссипативном случае, ибо любые другие численные методы в системах с трением работают неудовлетворительно.

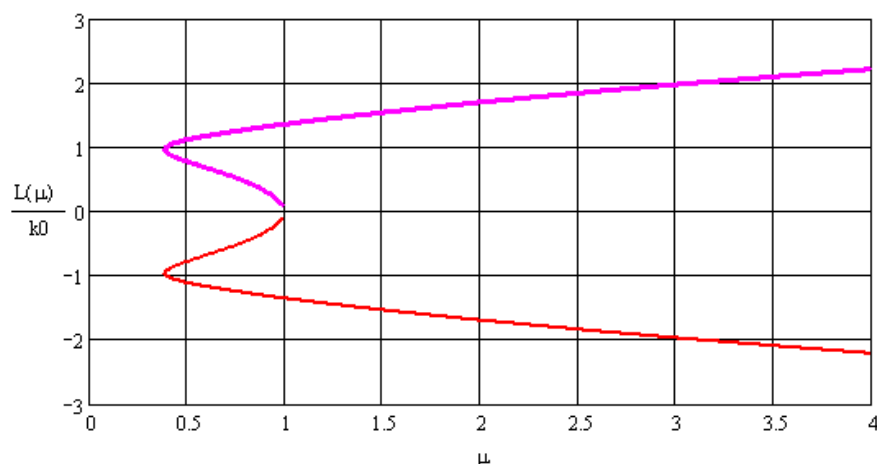


Рисунок 1 – Главная (первая) область параметрического резонанса колёсной пары экипажа при учёте только одной первой гармоники

Для сравнения данного результата с методом разложения решения в ряды Фурье воспользуемся формулами работы [2]:

$$\frac{\Omega_{1,2}}{k_0} = \sqrt{1 - \delta^2 \pm \sqrt{\mu^2 - 4\delta^2(1 - \delta^2)}}, \quad (6)$$

здесь $\delta = n/k_0$ – безразмерный коэффициент трения экипажа, предполагаемый малым, что допустимо в теории колебаний.

Результат вычисления показан на рисунке 2.

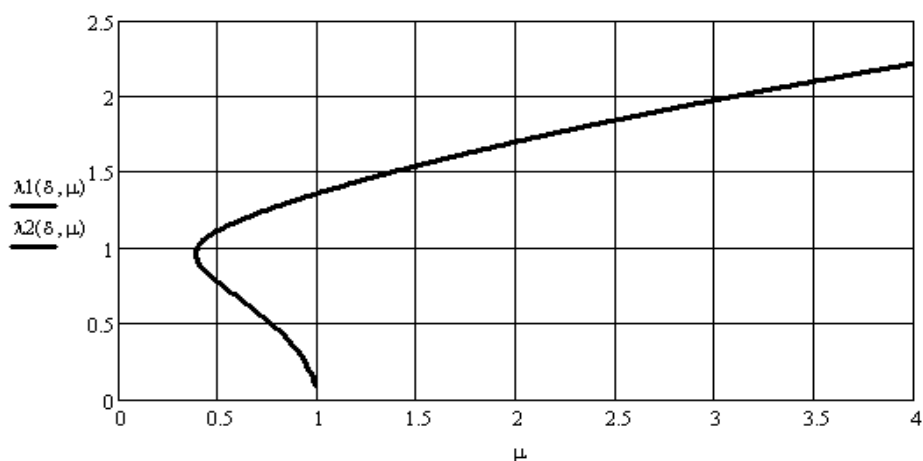


Рисунок 2 – Главная область параметрического резонанса, вычисленная по методу рядов Фурье

Сравнение графиков рисунков 1 и 2 указывает на то, что если на рисунке 1 пренебречь нижней частью, то они совпадают. Критическое значение коэффициента мультипликативного возмущения для обоих вариантов равно $\mu_{кр} = 0,392$. Таким образом, даже при попадании параметров экипажа в область

неустойчивости чистых параметрических колебаний не возникает пока коэффициент мультипликативного возмущения μ меньше критического.

Теперь возьмём в решении (5) две гармоники (первую и третью), тогда после необходимых преобразований получим (рисунок 3).

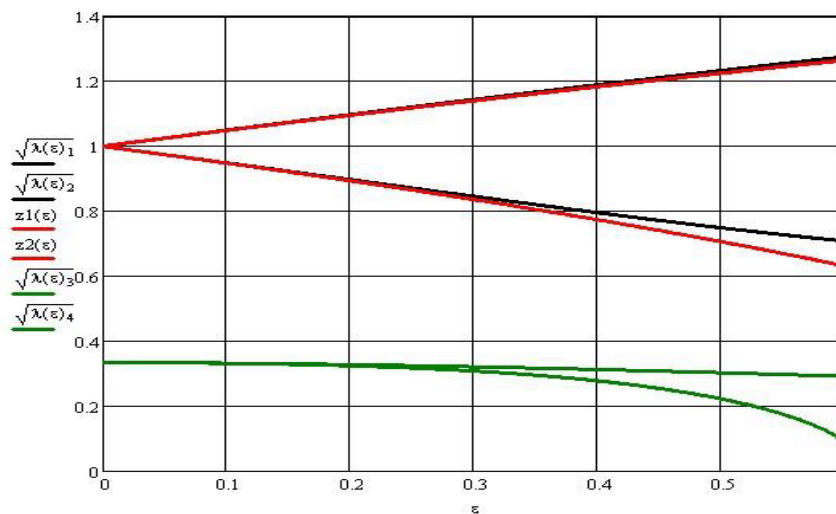


Рисунок 3 – Первая и третья области параметрических резонансов колёсной пары экипажа в консервативном случае

На рисунке 4 приведены графики границ главной (первой), третьей и пятой зон параметрического резонанса колёсной пары железнодорожного экипажа. Полученные графики убеждают в том, что ширина областей неустойчивости с ростом её порядка убывает, а точность вычисления границ главного параметрического резонанса даже при учёте трех гармоник в решении изменяется незначительно.

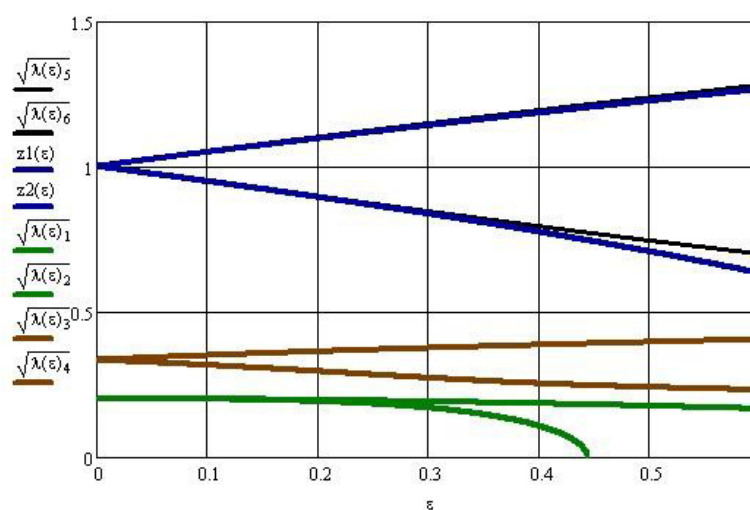


Рисунок 4 – Первая, третья и пятая области неустойчивости колёсной пары экипажа в консервативном случае

Вычисления позволяют также определить границы второй зоны параметрического резонанса, которые представлены на рисунке 5.

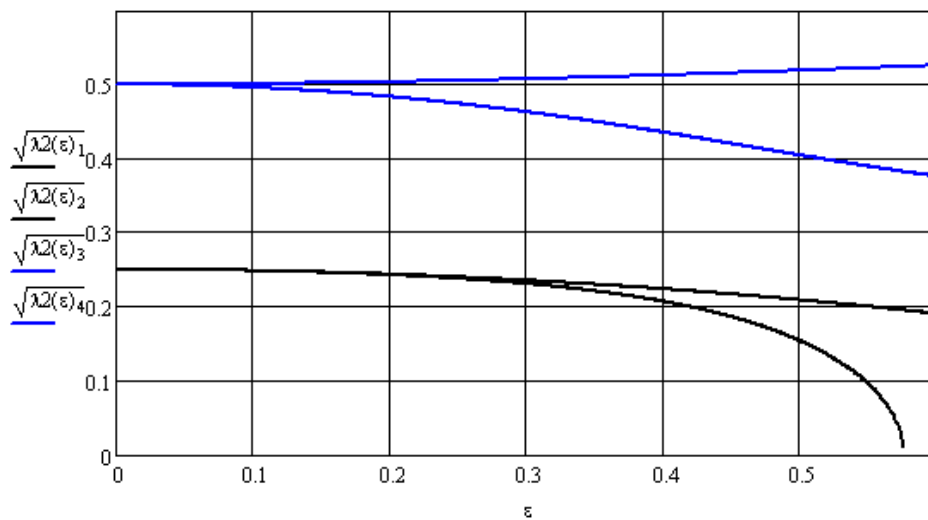


Рисунок 5 – Вторая и четвёртая области неустойчивости колёсной пары экипажа

На рисунке 6 приведены все пять зон параметрического резонанса, из которого можно сделать вывод о том, что побочные области неустойчивости могут накладываться друг на друга при достаточно больших коэффициентах параметрического воздействия.

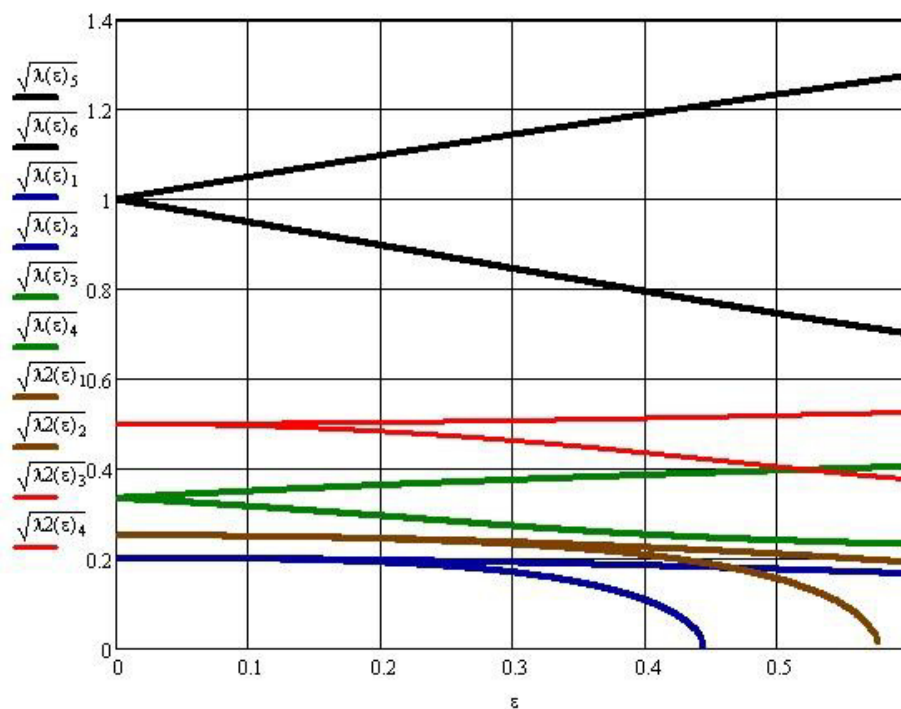


Рисунок 6 – Главная, вторая, третья, четвёртая и пятая области параметрических резонансов колёсной пары экипажа

В заключение нужно отметить, что метод обобщённых определителей Хилла хорошо программируется и может быть с успехом распространён на многостепенные математические модели подвижного состава железных дорог, обязательно учитывающие продольную неравноупругость железнодорожного пути.

Список литературы

1. Болотин, В. В. Динамическая устойчивость упругих систем / В. В. Болотин. – Москва : Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 600 с.
2. Нехаев, В. А. Взаимодействие экипажа с квазиинвариантной системой подвешивания и неравноупругого по протяжённости пути : специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нехаев Виктор Алексеевич ; Омский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Омск : ОмИИТ, 1983. – 218 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Нехаев Виктор Алексеевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 37-60-82.
E-mail: NehaevVA@rambler.ru

Николаев Виктор Александрович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 37-60-82.
E-mail: NikolaevVA@omgups.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nehaev Victor Alekseevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Professor of the department "Theoretical and applied mechanics" OSTU.
Phone: +7 (3812) 37-60-82.
E-mail: NehaevVA@rambler.ru

Nikolaev Victor Aleksandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Head of the department "Theoretical and applied mechanics" OSTU.
Phone: +7 (3812) 37-60-82.
E-mail: NikolaevVA@omgups.ru

Самохвалов Евгений Александрович
Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доцент кафедры «Теоретическая и
прикладная механика» ОмГУПС.
Тел.: +7(3812) 31-16-88.
E-mail: SamohvalovEA@gmail.com

Samohvalov Evgeniy Aleksandrovich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Senior lecturer of the department "Theoretical
and applied mechanics" OSTU.
Phone: +7(3812) 31-16-88.
E-mail: SamohvalovEA@gmail.com

Минжасаров Марат Хайргельдаевич
Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доцент кафедры «Теоретическая и
прикладная механика» ОмГУПС.
Тел.: +7(3812) 31-16-88.
E-mail: mmx90@yandex.ru

Minzhasarov Marat Khajergeldajevich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Senior lecturer of the department "Theoretical
and applied mechanics" OSTU.
Phone: +7(3812) 31-16-88.
E-mail: mmx90@yandex.ru

УДК 629.4

В. А. Нехаев, В. А. Николаев, А. Н. Смалев, М. Х. Минжасаров

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

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЭЛЕКТРОВОЗА 2ЭС10 «ГРАНИТ»

В статье исследуется условный, обобщённый, одноосный электровоз 2ЭС10, что позволяет дать экспертные оценки его динамических качеств. Получена экспертная оценка и динамической добавки давления на железнодорожный путь.

Ключевые слова: железнодорожный путь, обобщённый экипаж, амплитудно-частотная характеристика, геометрическая неровность, дискретная инерционная модель пути, модуль передаточной функции.

**Victor A. Nehaev, Victor A. Nikolaev, Aleksander N. Smalev,
Marat Kh. Minzhasarov**

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

EXPERT ASSESSMENT OF THE DYNAMIC QUALITIES OF THE 2ES10 «GRANIT» ELECTRIC LOCOMOTIVE

The article examines the conditional, generalized, single-axis electric locomotive 2ES10, which allows us to give expert assessments of its dynamic qualities. An expert assessment of the dynamic pressure addition on the railway track was obtained.

Keywords: railway track, generalized crew, amplitude-frequency response, geometric unevenness, discrete inertial model of the track, transfer function module.

Прежде всего, допустим, что железнодорожный путь является равноупругим и представляется дискретной инерционной моделью, а геометрическая неровность пути представляется случайным стационарным процессом. Установлено, что в диапазоне частот 0 – 30 Гц амплитуды гармонических составляющих (АЧХ) буксового узла отличается от амплитуд возмущения не более чем на 13%. На колебания колёс практически не влияют колебания надрессорного строения подвижного состава. Более того, если варьировать параметры рессорного подвешивания, уменьшая или увеличивая их в 10 раз, то АЧХ буксового узла изменяются не более чем на 10% [1, 4]. В [4] кроме того, установлено, что чем ближе к месту приложения возмущения рассматриваемая точка, то тем меньше влияют изменения параметров экипажа на соответствующую АЧХ.

Следовательно, ответ на вопрос, колебания каких элементов экипажа содержат наименее искажённую информацию о возмущениях, вполне однозначен: ближайших к месту приложения возмущения. Использование этой информации даёт наименьшие погрешности при переходе от одного экипажа к другому. Естественно, что такими элементами в экипаже являются буксовые узлы. В дальнейших исследованиях будем использовать данные о случайных возмущениях колёсных пар тепловоза, полученные профессором А.И. Беляева [5].

Колебания электровоза 2ЭС10 рассмотрим на основе модели условного, обобщённого, одноосного железнодорожного экипажа [6], колебания которой описываются системой дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} M_{\kappa} \ddot{z}_{\kappa} + \beta_{\kappa} \dot{z}_{\kappa} - \beta_{\kappa} \dot{z}_{\tau} + C_{\kappa} z_{\kappa} - C_{\kappa} z_{\tau} &= 0; \\ M_{\tau} \ddot{z}_{\tau} - \beta_{\kappa} \dot{z}_{\kappa} + (\beta_{\kappa} + \beta_{\delta}) \dot{z}_{\tau} - (\beta_{\delta} + \beta_{\tau}) \dot{z}_{\kappa\pi} + \beta_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a) \dot{\phi}_{\text{дв}} - \\ - C_{\kappa} z_{\kappa} + (C_{\kappa} + C_{\delta}) z_{\tau} - (C_{\delta} + C_{\tau}) z_{\kappa\pi} + C_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a) \phi_{\text{дв}} &= 0; \\ (M_{\kappa\pi} + M_{\pi} + M_{\text{дв}}) \ddot{z}_{\kappa\pi} + M_{\text{дв}} \ell_{\text{дв}} \ddot{\phi}_{\text{дв}} - (\beta_{\delta} + \beta_{\tau}) \dot{z}_{\tau} + (\beta_{\delta} + \beta_{\pi} + \beta_{\tau}) \dot{z}_{\kappa\pi} - \\ - \beta_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a) \dot{\phi}_{\text{дв}} - (C_{\delta} + C_{\tau}) z_{\tau} + (C_{\delta} + C_{\pi} + C_{\tau}) z_{\kappa\pi} - C_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a) \phi_{\text{дв}} &= M_{\pi} \ddot{\eta} + \beta_{\pi} \dot{\eta} + C_{\pi} \eta; \\ (J_{\text{дв}} + M_{\text{дв}} \ell_{\text{дв}}^2) \ddot{\phi}_{\text{дв}} + M_{\text{дв}} \ell_{\text{дв}} \ddot{z}_{\kappa\pi} + \beta_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a) \dot{z}_{\tau} - \beta_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a) \dot{z}_{\kappa\pi} + \\ + \beta_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a)^2 \dot{\phi}_{\text{дв}} + C_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a) z_{\tau} - C_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a) z_{\kappa\pi} + C_{\tau} (\ell_{\text{дв}} + a)^2 \phi_{\text{дв}} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Следует обратить внимание на то, что третье и четвёртое уравнения связаны между собой, это означает невозможность численного интегрирования данной системы дифференциальных уравнений потому, что все численные методы подразумевают запись системы дифференциальных уравнений в форме Коши, т.е. разрешение относительно старших производных.

На железнодорожном пути помимо неровностей, обусловленных рельсовыми звеньями и стыками, присутствуют ещё различные микро- и макронеровности. Считают, что корреляционная связь между высотой (амплитудой) неровности h и её длиной L носит линейный характер [2, 3] и это не противоречит физической сущности явления. Кроме того, внешнее возмущение $\eta(t)$, действующее со стороны железнодорожного пути, приложено, естественно, к колёсной паре локомотива и будем считать, что оно является случайным стационарным процессом, который можно разложить в ряд Фурье. В результате обработки записей неровностей пути длиной до 100 м в [2] была получена следующая зависимость:

$$h = 0,0004L \quad (2)$$

(для зарубежных железных дорог в [3] приведено следующее выражение $h = 0,0003L$), т.е. состояние российских железных дорог несколько хуже и, видимо, поэтому достигнуть скорости движения поездов как за рубежом мы не можем.

Выполнив преобразование Лапласа над системой (1), для упрощения дальнейших действий запишем полученную систему алгебраических уравнений системы в векторно-матричной форме в изображениях обобщённых координат:

$$(p^2 M + pB + C) \vec{q}(p) = \vec{F}(p). \quad (3)$$

где M – матрица инерционных коэффициентов условного, обобщённого, одноосного электровоза 2ЭС10; B – матрица диссипативных коэффициентов

условного, обобщённого, одноосного электровоза 2ЭС10; C – матрица жёсткостных коэффициентов условного, обобщённого, одноосного электровоза 2ЭС10; $\vec{F}(p)$ – вектор внешнего возмущения, действующий на электровоз 2ЭС10; $\eta(p)$ – изображение случайной геометрической неровности железнодорожного пути. Следует отметить, что все матрицы являются симметричными относительно главной диагонали.

Разделим левые и правые части системы алгебраических уравнений в изображениях на изображение случайной геометрической неровности пути и введём соответствующие передаточные для электровоза 2ЭС10:

$$(p^2 M + pB + C)\vec{W}(p) = \vec{G}(p), \quad (4)$$

где $\vec{W}(p)$ – вектор передаточных функций системы, элементы которого представляют собой отношения изображений выходов ко входу и показывают во сколько раз больше или меньше эти отношения; $\vec{G}(p)$ – вспомогательный вектор.

Чтобы вернуться назад из комплексного пространства в реальное пространство наших обобщённых координат, полагаем, что $p=j\omega$, тогда, как известно, передаточные функции станут комплексными числами:

$$(C - \omega^2 M + j\omega B)(\vec{W}_{\text{Re}} + j\vec{W}_{\text{Im}}) = \vec{G}_{\text{Re}} + j\vec{G}_{\text{Im}}, \quad (5)$$

где $\vec{W}_{\text{Re}}$ – действительные части передаточных функций электровоза 2ЭС10; $\vec{W}_{\text{Im}}$ – мнимые части передаточных функций электровоза 2ЭС10.

Модули передаточных функций для обобщённых координат электровоза 2ЭС10 равны:

$$\begin{cases} |W_{\text{к}}(\omega)| = \sqrt{W_{\text{Рек}}^2 + W_{\text{Имк}}^2}; \\ |W_{\text{т}}(\omega)| = \sqrt{W_{\text{Рет}}^2 + W_{\text{Имт}}^2}; \\ |W_{\text{кп}}(\omega)| = \sqrt{W_{\text{Рекп}}^2 + W_{\text{Имкп}}^2}; \\ |W_{\varphi}(\omega)| = \sqrt{W_{\text{Ре}\varphi}^2 + W_{\text{Им}\varphi}^2}. \end{cases} \quad (6)$$

Итак, чтобы определить передаточные функции электровоза, необходимо решить систему алгебраических уравнений:

$$\begin{pmatrix} C - \omega^2 M & -\omega B \\ \omega B & C - \omega^2 M \end{pmatrix} \vec{X} = \begin{pmatrix} \vec{G}_{\text{Re}} \\ \vec{G}_{\text{Im}} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где $\vec{X}$ – вектор действительных и мнимых частей передаточных функций для обобщённых координат электровоза 2ЭС10.

Ниже на рисунках 1 – 4 приведены результаты расчета – графики изменения ускорений кузова, тележки и колёсной пары в долях g и графики галопирования ТЭД электровоза в рад/с^2 .

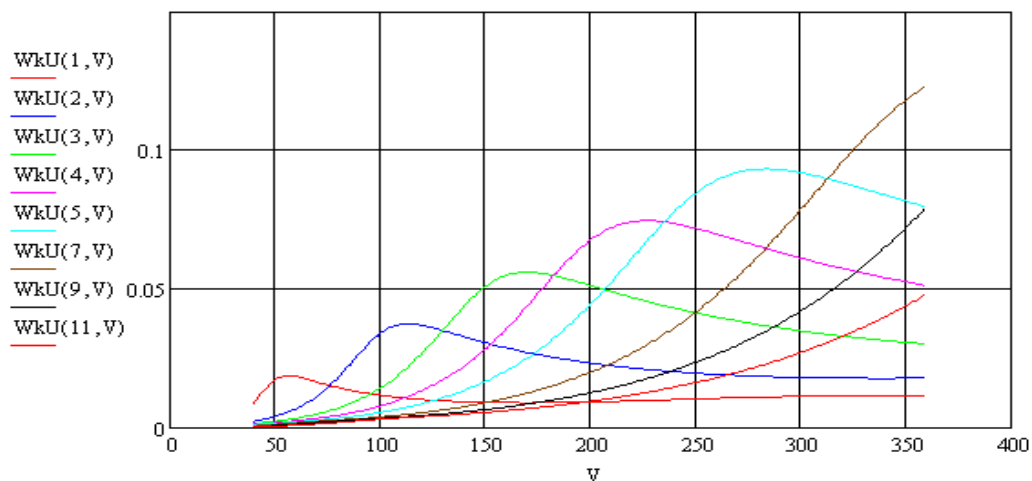


Рисунок 1 – Ускорение кузова электровоза, в долях g

Максимальное ускорение кузова электровоза не превышает $0,15g$ при $V=360$ км/ч.

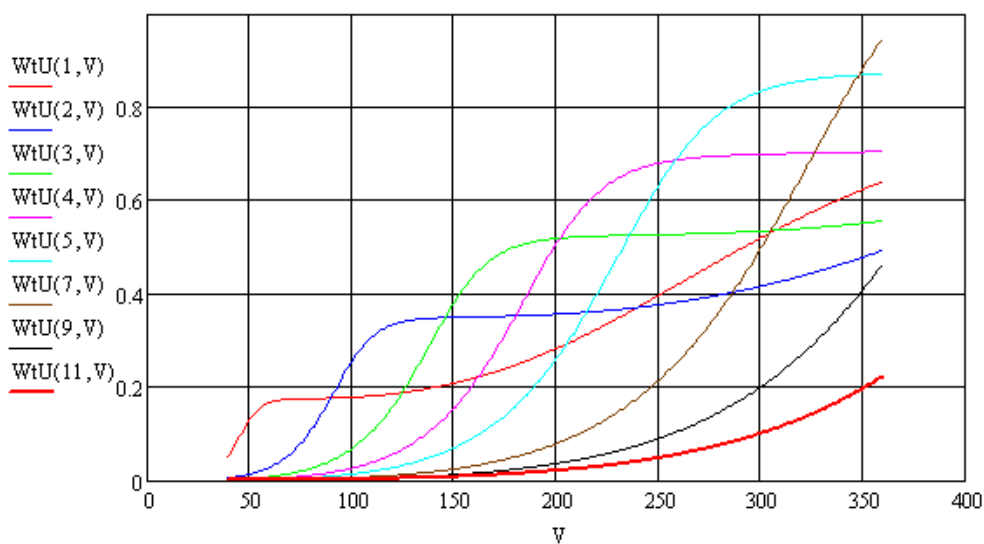


Рисунок 2 – Ускорения тележки электровоза, в долях g

Максимальное ускорение тележки электровоза не превышает $1g$ при скорости движения $V=360$ км/ч.

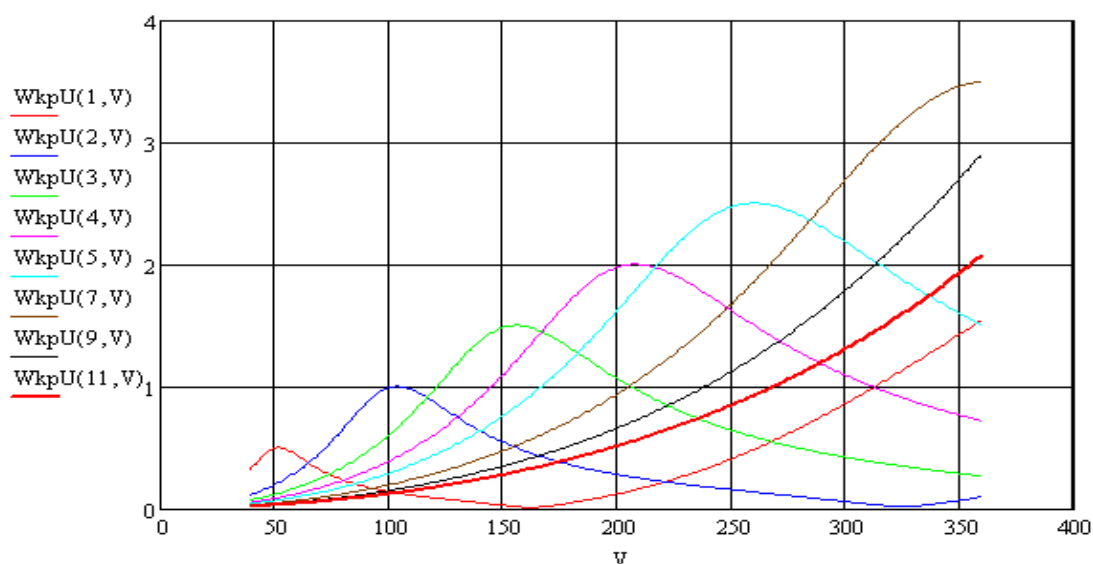


Рисунок 3 – Ускорения колёсной пары электровоза, в долях g

Максимальное ускорение колёсной пары электровоза не превышает $3,5g$ при скорости движения $V=360$ км/ч. Экспертная оценка динамической добавки давления на путь составляет менее $7,55$ тс при скорости 360 км/ч.

В действительности на железнодорожном пути могут встречаться любые длины геометрических неровностей, поэтому для приведённых выше графиков нужно строить огибающие, которые проходят через максимальные значения для каждой скорости движения экипажа. Ниже на рисунке 4 даны ускорения галопирования ТЭД электровоза, причём максимальное ускорение достигает порядка 30 рад/с^2 при скорости движения 360 км/ч.

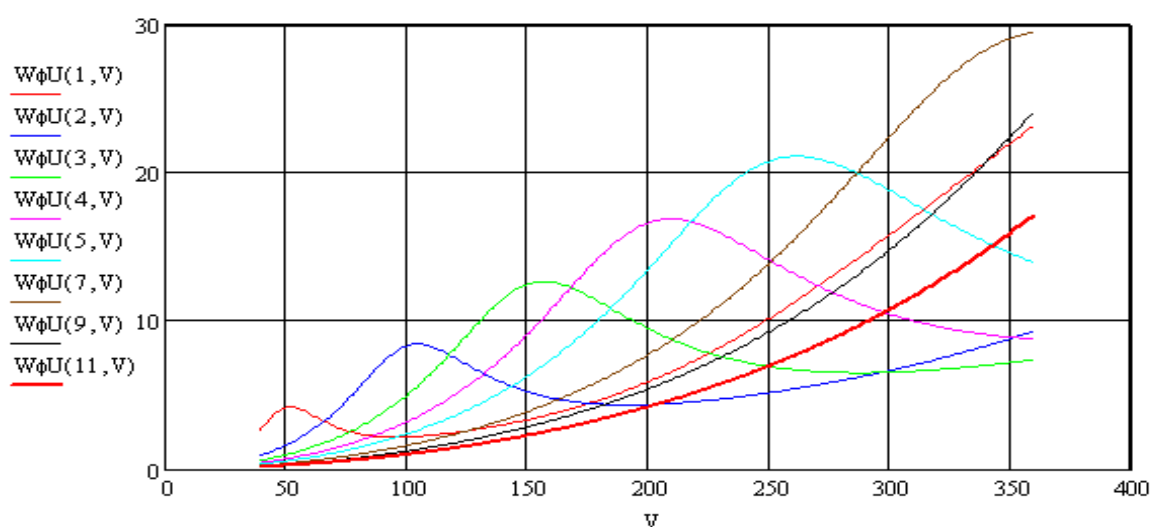


Рисунок 4 – Ускорение галопирования ТЭД электровоза, рад/с^2

Частота ω определяется выражением $\pi V/1,8L$, здесь V – скорость движения экипажа в км/ч, L – длина геометрической неровности. Модуль динамической добавки давления на железнодорожный путь вычислялся по формуле:

$$|W_{\Delta p}(j\omega)| = \sqrt{(C_n - M_n \omega^2)^2 + \beta_n^2 \omega^2} \cdot \sqrt{[X_3(\omega) - 1]^2 + X_7^2(\omega)}, \quad (8)$$

Динамическая добавка давления электровоза на железнодорожный путь даётся ниже на рисунке 5.

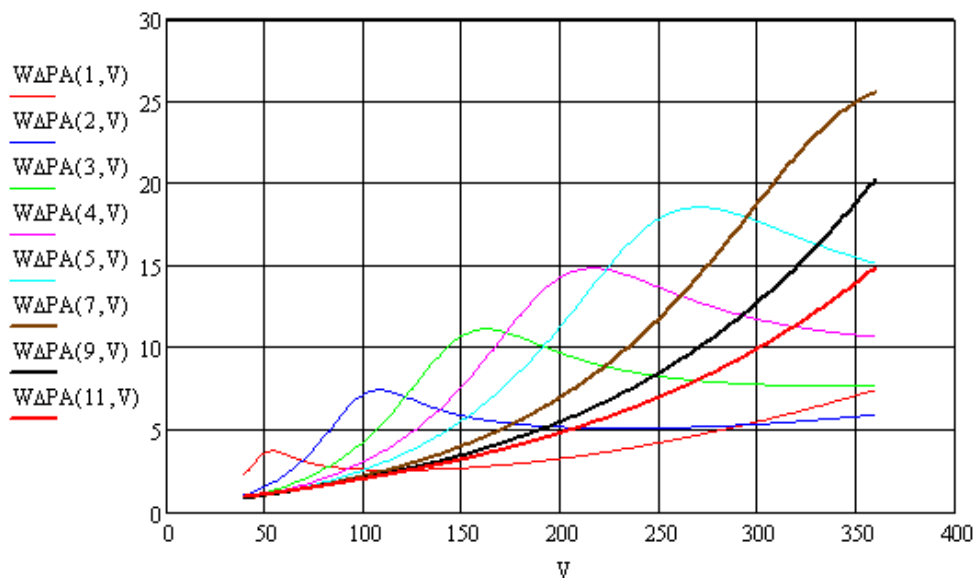


Рисунок 5 – Изменение динамической добавки давления на железнодорожный путь электровоза 2ЭС10 от длины геометрической неровности (м) и скорости движения (км/ч)

Из рисунков 5 можно сделать вывод о том, что для того чтобы данный электровоз мог водить поезда по перегону со скоростями до 275 км/ч, на нём не должны обнаруживаться геометрические неровности с длинами волн свыше 5 м. В противном случае будет необходимо ограничить скорость движения электровоза 2ЭС10 «Гранит». В заключение отметим, что экспертная оценка динамической добавки давления электровоза на путь как произведения массы колёсной пары на её ускорение является не совсем состоятельной.

Список литературы

1. Камаев, В. А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава / В. А. Камаев. – Москва: Машиностроение, 1980. – 215 с. – Текст : непосредственный.

2. Исследования по выбору статического прогиба и демпфирования рессорного подвешивания / Н. И. Григорьев, Л. К. Добрынин, А. С. Евстратов [и др.]. – Текст : непосредственный // Научные труды ВНИТИ. – 1968. – Выпуск 31. – С. 3–33.

3. Мацудайра, Т. Предел повышения скоростей движения поездов / Т. Мацудайра. – Текст : непосредственный // Ежемесячный бюллетень международной ассоциации железнодорожных конгрессов. – 1967. – № 12. – С. 19–24.

4. Ушкалов, В. Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей / В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, С. Ф. Редько. – Киев : Наукова думка, 1982. – 360 с. – Текст : непосредственный.

5. Беляев, А. И. Вероятностные характеристики стохастических колебаний колёсной пары тепловоза 2ТЭ10Л / А. И. Беляев, В. К. Белов. – Текст : непосредственный // Вестник ВНИИЖТа. – 1971. – № 1. – С. 36–40.

6. Вершинский, С. В. Динамика вагона / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков. – Москва : Транспорт, 1978. – 360 с. – Текст : непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Нехаев Виктор Алексеевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Профессор кафедры «Теоретическая и
прикладная механика» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 37-60-82.
E-mail: NehaevVA@rambler.ru

Николаев Виктор Александрович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Заведующий кафедрой «Теоретическая и
прикладная механика» ОмГУПС.
Тел.: +7 (3812) 37-60-82.
E-mail: NikolaevVA@omgups.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nehaev Victor Alekseevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Professor of the department "Theoretical and
applied mechanics" OSTU.
Phone: +7 (3812) 37-60-82.
E-mail: NehaevVA@rambler.ru

Nikolaev Victor Aleksandrovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Head of the department "Theoretical and
applied mechanics" OSTU.
Phone: +7 (3812) 37-60-82.
E-mail: NikolaevVA@omgups.ru

Смалев Александр Николаевич
Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доцент кафедры «Теоретическая и
прикладная механика» ОмГУПС.
Тел.: +7(3812) 31-16-88.
E-mail: SmalevAN@omgups.ru

Smalev Aleksander Nikolaevich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Senior lecturer of the department "Theoretical
and applied mechanics" OSTU.
Phone: +7(3812) 31-16-88.
E-mail: SmalevAN@omgups.ru

Минжасаров Марат Хайргельдаевич
Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Доцент кафедры «Теоретическая и
прикладная механика» ОмГУПС.
Тел.: +7(3812) 31-16-88.
E-mail: mmx90@yandex.ru

Minzhasarov Marat Khajergeldajevich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Senior lecturer of the department "Theoretical
and applied mechanics" OSTU.
Phone: +7(3812) 31-16-88.
E-mail: mmx90@yandex.ru

УДК 629.42:629.4.054, 625.28

О. С. Абляимов

Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТУ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЛОКОМОТИВОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Излагается методика расчёта расхода энергии на тягу поездов за период движения в пути следования подвижного состава, предназначением которой является возможность составления баланса элементов упомянутого расхода на участках железных дорог с учётом дополнительного расчленения его на соответствующие составляющие.

Ключевые слова: исследование, результат, режим, показатель, характеристика, перевозочная работа, нормирование, локомотив, расход энергии, расчленение.

ANALYSIS OF ENERGY CONVERSIONS OF PROCESS OF TRANSPORTATION WORK OF LOCOMOTIVES IN OPERATION

A methodology for calculating the energy consumption for traction of trains for the period of movement along the route of the rolling stock is presented, the purpose of which is the possibility of compiling a balance of the elements of the mentioned consumption on railway sections, taking into account its additional division into corresponding components.

Keywords: research, result, mode, indicator, characteristic, transportation work, rationing, locomotive, energy consumption, dismemberment.

Настоящее исследование является продолжением работы [1], целью которого является обоснование методики расчёта расхода энергии на тягу поездов локомотивами за период движения в пути следования подвижного состава посредством дополнительного расчленения указанного расхода энергии на соответствующие слагаемые в зависимости от различных условий организации железнодорожных перевозок.

Для реализации поставленной цели исследований и анализа расхода энергии за поездку можно использовать следующие дополнительные расчленения указанного расхода периода движения:

а) по видам сопротивлений движению поезда.

Расход энергии на преодоление работы сил дополнительного сопротивления движению поезда

$$E_I = d \cdot i_{\text{кв}} \cdot (P_o + Q) = d \cdot P \cdot i_{\text{кв}} + d \cdot Q \cdot i_{\text{кв}} = E_{\text{ip}} + E_{\text{ia}} \quad (1)$$

где $d = \frac{a_E \cdot L}{\eta}$ - для конкретной поездки.

Расход энергии на преодоления работы сил основного сопротивления движению поезда

$$E_w = d \cdot [w'_s P_o + \alpha c_v m + Q \alpha c] \quad (2)$$

Расход энергии на работу тормозных сил поезда

$$E_T = \alpha A_T = \beta E_K^P \quad (3)$$

Расход энергии за период хода поезда составит - $E_x = E_i + E_w + E_T + E_{cx}$.

б) расхода энергии по их назначению.

Производственно - технологический расход энергии

$$E_k = E_i + E_w + E_t + E_l \quad (4)$$

Служебный расход энергии периода хода поезда

$$E_{cx} = g_x \cdot t \quad (5)$$

Расход энергии периода хода поезда - $E_x = E_k + E_{cx}$

в) расходы по их связи со временем хода (скоростью движения) поезда.

Независящий от скорости (времени) хода поезда расход энергии

$$E_n = d \cdot [P_o \cdot i_{kc} + Q \cdot (\alpha + i_{kc})] \quad (6)$$

Зависящий от скорости (времени) хода поезда расход энергии

$$E_g = d \cdot [P_o w'_s + d c_v m] + E_{cx} + E_t \quad (7)$$

Расход за период хода поезда - $E_x = E_n + E_g$

г) по слагаемым выражения (13) [2] и выражения (14) [2], зависящим от веса (массы) состава, числа осей в составе, времени выполняемой работы и числа остановок, удобно составлять таблицы нормирования для грузовых и пассажирских поездов.

Полученные выражения можно использовать для составления баланса расхода энергии на участках железных дорог с расчленением его на соответствующие составляющие (слагаемые).

Так, в таблице 1 приведены данные о расходе топлива тепловозами с расчленением для ряда направлений Среднеазиатской железной дороги по фактическим условиям работы.

Следует отметить, что во всех случаях должно соблюдаться условие

$$E' + E'' + E_{cx} + E_z + E_c + E_o + E_t \leq E_{\phi} \quad (8)$$

Если это условие не соблюдается, то или учёт фактического расхода топлива E_{ϕ} неверен, или принятые исходные зависимости $w_o(V)$, а также величины η , α и β неточно отражают действительность.

Расчёты составляющих E_x справедливы для того или иного принятого в расчётах времени хода t_p , которое может быть временем по расписанию или средним фактическим временем движения поезда. В действительных условиях работы на участках железных дорог, нередко, фактическое время движения не совпадает с принятым по расписанию. В условиях транспортной работы, учёт фактического времени движения является совершенно обязательным, так как оно оказывает большое влияние на своевременную доставку грузов (пассажиров) и на расходы по железнодорожным перевозкам, фактическое время движения поезда можно установить по данным скоростемерных лент, маршрутов машиниста и по

отчётности формы ЦО4 для каждого варианта работы ВР.

Пример выявления фактического времени движения поезда по данным ста маршрутов машиниста на одном из участков Среднеазиатской железной дороги представлен в таблице 2, где приведено также и среднее время стоянок на промежуточных станциях. Имеющаяся разница времени хода поезда должна учитываться при проведении нормирования.

Учёт отклонения фактического времени хода поезда, от принятого в расчётах, производится по формулам (17) и (20), обозначенным в работе [2].

Таблица 1

Слагаемые составляющих расхода топлива тепловозами 2ТЭ10Л
за период безостановочного хода на некоторых направлениях
Среднеазиатской железной дороги

Условия и слагаемые расхода энергии	У - Ч		К – С		С - К	
	величины, E , кг	% от E_x	величины, E , кг	% от E_x	величины, E , кг,	% от E_x
1	2	3	4	5	6	7
Q , т	2350	-	2350	-	2800	-
m , осей	200	-	200	-	200	-
t_x , ч	1,9	-	4,11	-	4,35	-
E'	98,2	10,4	154	9,90	32,2	5,30
E''	705,2	75,0	1150	74,5	-19,0	-20
E_T	50,6	5,4	54,0	3,5	391	65,0
E_{cx}	87	9,2	187	12,1	198	32,9
E_t	355,4	37,8	654	42,4	-616,8	-102
E_w	448	47,6 :	650	42,0	630	104
E_k	854,0	90,8	1358	87,9	404,2	67,1
E_n	465,6	49,4	829	53,6	-415,8	-69,0
E_e	475,4	50,6	716	46,4	1018	169
E_Q	708,0	75,2	1170	75,8	306,2	50,8
E_m	233,0	24,8	375	24,2	296	49,2
E_x	941,0	100	1545,0	100	602,2	100

Расчленение составляющих (слагаемых) расхода энергии значительно облегчает анализ результатов энергетических преобразований перевозочной работы локомотивов в условиях эксплуатации. Оно (расчленение) позволяет

исследовать влияние изменения тех или иных факторов на расход энергии, облегчает нахождение соответствующих поправочных коэффициентов необходимых для учёта изменения условий работы и прочее.

Таблица 2

Среднее фактическое время хода поездов и некоторые значения условий работы для двух направлений Среднеазиатской железной дороги по данным ста маршрутов машиниста

Направление	Q_p , т	m_p , осей	z_p , остановок	среднее время хода поезда, мин		t_c^r , мин	t_c^p , мин
				фактическое t_ϕ	по графику t		
1	2	3	4	5	6	7	8
К - КГ (нечётное)	2130	206	4,10	205	146	109	103,0
З - С (нечётное)	2450	212	4,05	178	142	36,0	76,3

Расход энергии, связанный с разгонами и замедлениями на направлении E_z зависит от числа остановок, а также от расхода энергии на одну остановку ΔE_z , величина которого связана с тормозными потерями и восстановлением энергии после остановки, а также и расходом на служебные нужды за период дополнительного времени на разгон замедление Δt_{pz} .

Средняя величина ΔE_z для варианта расчёта составляет $\Delta E_z = \frac{E_x^o - E_x^\delta}{z}$.

где E_x^o – расход энергии при движении с остановками на всех отдельных пунктах;

E_x^δ – расход энергии при движении без остановок;

z – число остановок на промежуточных отдельных пунктах и у сигналов.

Учитывая относительно небольшое влияние составляющей E_z на общий расход энергии можно принимать величину $\Delta E_z(Q)$ по единой зависимости, средней для всех направлений данного локомотивного депо, отдельно в грузовом и пассажирском движении.

Таким образом, имеем

$$E_z = z \cdot \Delta E_z(Q) \quad (9)$$

Расход энергии за время стоянок на промежуточных отдельных пунктах

и у сигналов, когда дизели не выключались, зависит от времени стоянок t_c мин и среднего расхода энергии на служебные нужды g_x , то есть

$$E_c = g_x \cdot t_c \quad (10)$$

Величина g_x для той или иной серии принимается согласно ПТР [3].

Дополнительный расход, связанный с разницей величин сопротивлений при трогании поезда с места и основным сопротивлением за время разгона, необходимо учитывать в расчётах, когда расчётное время хода t_p включает и дополнительное время разгонов - замедлений (что обычно имеет место при расчётах, особенно, для пригородных поездов).

Это необходимо потому, что в вышеприведённых формулах учитывалось лишь основное сопротивление движению поезда, поэтому дополнительно

$$E_p = a_p (P_o + Q) \frac{a_E}{\eta} \quad (11)$$

где $a_p \approx 0,5$ - ввиду малого влияния на результаты это значение принято постоянным.

Расход энергии за период стоянок на станциях оборота локомотива или смены локомотивных бригад t_o , мин и передвижений на расстоянии $L_{тр}$, км со средней скоростью, $V_{тр}$, км/ч определяется по опыту работы или расчетом

$$E_o = \frac{L_{тр} \cdot 60}{V_{тр}} \cdot G_{тр} + t_o \cdot g_x \quad (12)$$

где $G_{тр}$ – средний расход при передвижении по тракционным железнодорожным путям, кг/мин. Брать согласно данным ПТР [4].

Таким образом, описанную методику расчёта расхода энергии на тягу поездов за период движения в пути следования подвижного состава, можно использовать при составлении поэлементного баланса упомянутого расхода с дополнительным расчленением его на соответствующие составляющие (слагаемые) для различных участков железных дорог.

Кроме этого, полученные выражения позволяют расширить границы точности вычислений разработанных алгоритмов и программ расчётов для данных таблиц нормирования расхода энергии на тягу поездов.

Список литературы

1. Толкачёв, А. В. Расчёты норм расхода энергии на перевозочную работу локомотивов методом расчленения / А. В. Толкачёв. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1973. – Выпуск 100. – С. 43–54.

2. Правила тяговых расчётов для поездной работы / Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с. – Текст : непосредственный.

3. Абляимов, О. С. Основы управления локомотивов : учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков. – Ташкент : Davr, 2012. – 392 с. – Текст : непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Абляимов Олег Сергеевич

Ташкентский государственный
транспортный университет (ТГТУ).
ул. Элтузар, д. 25, г. Ташкент, 100167,
Республика Узбекистан.
Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, и.о. профессора
кафедры «Локомотивы и локомотивное
хозяйство» ТГТУ.
Тел. +998371-254-52-16.
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Tashkent state transport university (TSTU).
25, Eltuzar str., Tashkent, 100167,
the Republik of Uzbekistan.
Doctor of philosophy, chief scientific worker,
acting professor of the chair «Locomotives
and locomotive, economy» TSTU.
Phone: +998371-254-52-16.
E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

УДК 629.4; 658.26; 656.2

Д. В. Полевых

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

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ПОЕЗДНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ НА ОБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье разобран вопрос изменения нагрузки на оборудование тяговых подстанций при тяге различными типами электровозов. Проведен анализ токовых нагрузок на оборудование для двух участков – с ровным и резкопеременным продольным профилем пути.

Ключевые слова: электровоз, выпрямитель, потери электроэнергии, тяговые подстанции, КОРТЭС, энергоэффективность.

COMPARISON OF VL10, 2ES6 AND 2ES10 LOCOMOTIVES IN THE PART OF LOADING ON TRACTION SUBSTATION EQUIPMENT AND INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM

The article deals with the issue of changing the load on the equipment of traction substations when tractioned by various types of electric locomotives. The analysis of the current loads on the equipment for two sections - with a flat and abruptly variable longitudinal track profile is carried out.

Keywords: electric locomotive, rectifier, power losses, traction substations, KORTES, energy efficiency.

За последние 10 лет состав локомотивных парков значительно изменился – на смену электровозам ВЛ10 постепенно пришли новые более мощные локомотивы 2ЭС6 «Синара» с коллекторными двигателями и 2ЭС10 «Гранит» с асинхронными. Мощности новых локомотивов 2ЭС6 и 2ЭС10 составляют 6400 кВт и 10060 кВт соответственно, против 5760 кВт у ВЛ10. В совокупности с ростом размеров движения тяговая нагрузка на оборудование тяговых подстанций значительно возрастает.

Для сравнения электрических характеристик локомотивов в приложении Trelk, входящей в состав программного комплекса «КОРТЭС» были выполнены тяговые расчёты на участках с Московка – Татарская для поездов массой 6300 т в нечётном направлении и 5000 т в чётном, аналогично для участка Инская – Тайга – поезда массами 6000 т в нечётном и 5800 т в чётном. Результаты приведены в таблице 1.

Из таблицы видно, что на обоих типах профиля пути наименьшие потери и расход электроэнергии у электровоза ВЛ10. На резкопеременном профиле пути электровоз 2ЭС10 показывает оптимальный расход и потери, а 2ЭС6 в трёхсекционном исполнении наибольший расход и потери.

Для сравнения показателей нагрузок на оборудование тяговых подстанций при использовании разных серий локомотивов в программном комплексе «КОРТЭС» выполнены электрические расчёты для поездов с тягой

локомотивами ВЛ10, 2ЭС6 и 2ЭС10. Для расчёта принят участок с ровным продольным профилем пути Московка – Татарская и участок с резкопеременным профилем Инская – Тайга.

Таблица 1

Сравнение расхода и потерь электроэнергии для электровозов ВЛ10, 2ЭС6 и 2ЭС10 при следовании на участках Московка – Татарская и Инская – Тайга

Локомотив/параметр	Расход ЭЭ, кВт*ч		Потери ЭЭ в тяг. сети			
	Неч.	Чёт.	Неч.		Чёт.	
			кВт*ч	%	кВт*ч	%
Московка – Татарская						
ВЛ10	5998	11512	258	3,9	972	6,8
2ЭС6	6203	12552	319	4,5	1129	7,5
2ЭС10	7019	14129	383	4,8	1381	8,1
Инская – Тайга						
1,5xВЛ10	15540	18142	1304	7,2	1471	7,0
1,5x2ЭС6	17591	19923	2039	9,9	2122	9,3
2ЭС10	16944	19740	1609	8,1	1702	7,5

В электрическом расчёте для каждого типа локомотива составлен отдельный график движения поездов с одинаковыми массами и числом поездов в пакете. Массы приняты в соответствии с приказом № ЦТ-227 от 17.10.2019 «Об установлении норм масс и длин пассажирских и грузовых поездов на участках, обслуживаемых Западно-Сибирской дирекцией тяги» [1], а интервалы – в соответствии с приказом №178 от 15.07.2019 «О допустимых межпоездных интервалах по устройствам тягового электроснабжения» [2]:

1. Для участка Московка – Татарская:

Нечётный: 6300 – 12600 – 6300 – 6300 – 6300 с интервалом 10 минут.

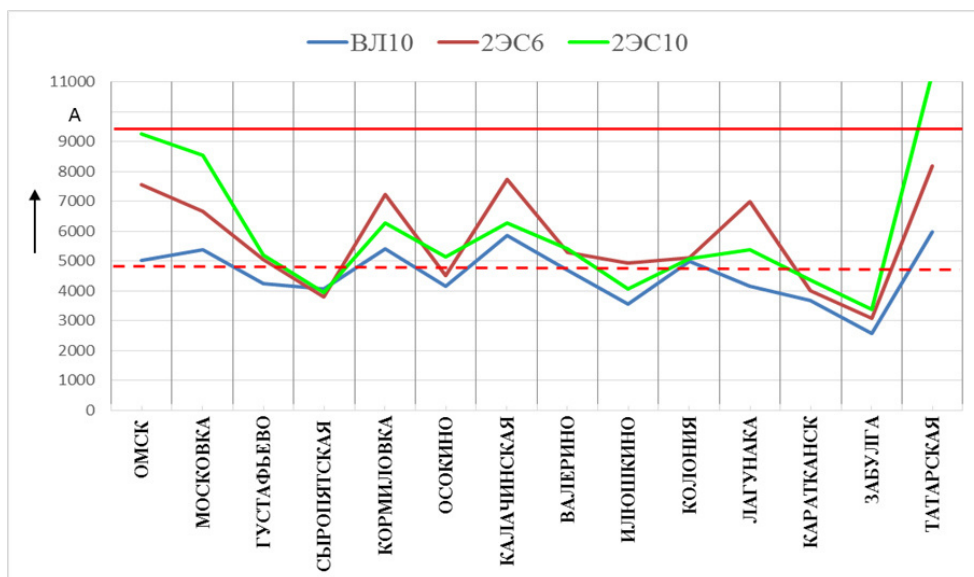
Чётный: 2700 – 2700 – 5000 – 2700 – 2700 с интервалами 10 минут

2. Для участка Инская – Тайга:

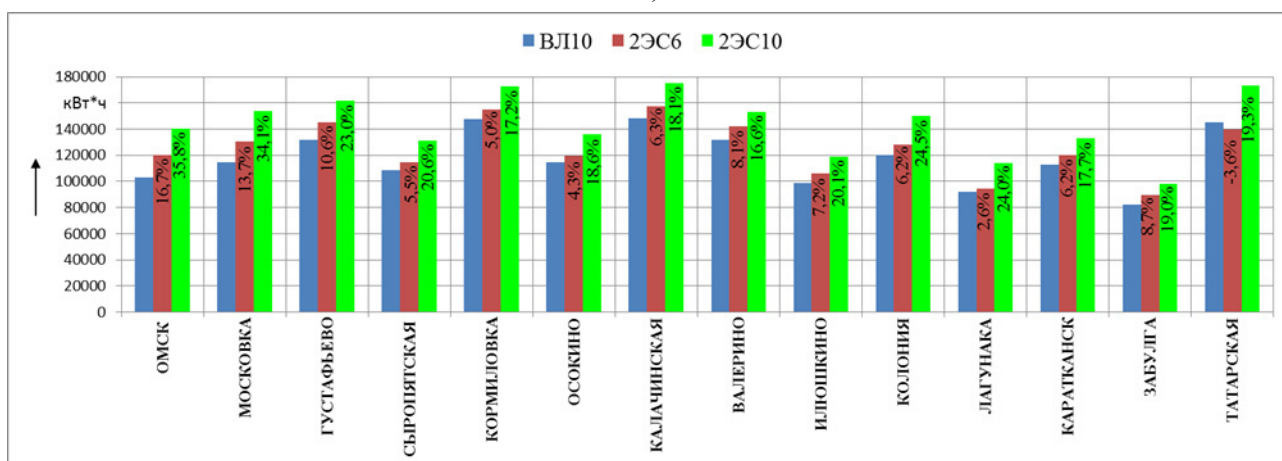
Нечётный: 6000 – 6000 – 6000 – 6000 – 6000 с интервалом 14 минут.

Чётный: 5800 – 5800 – 5800 – 5800 – 5800 с интервалом 14 минут

Результаты электрических расчётов приведены на рисунке 1 и рисунке 2.



а)



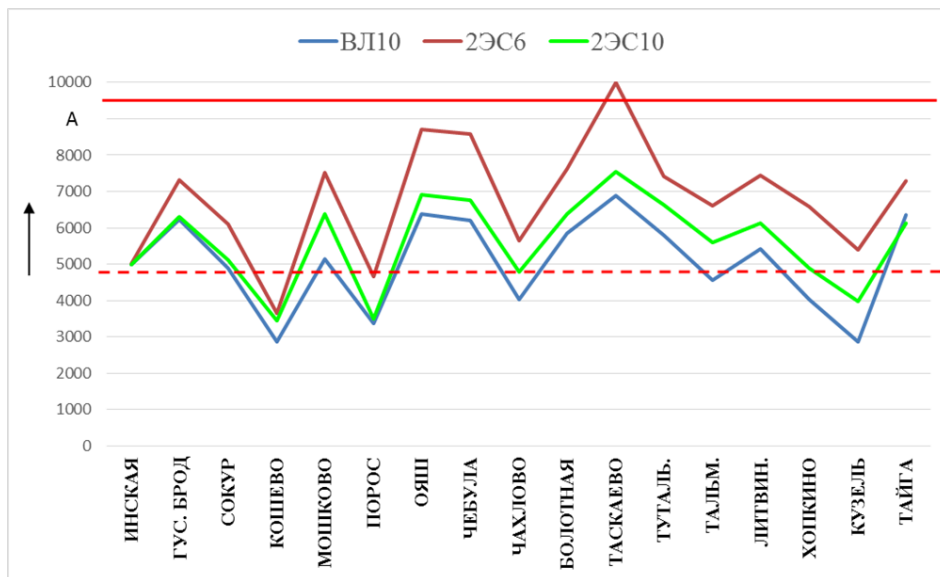
б)

Рисунок 1 – Изменение полуминутной тяговой нагрузки на полупроводниковые выпрямители (а) и расхода электроэнергии (б) при тяге локомотивами ВЛ10, 2ЭС6 и 2ЭС10 на участке с ровным профилем Омск – Татарская

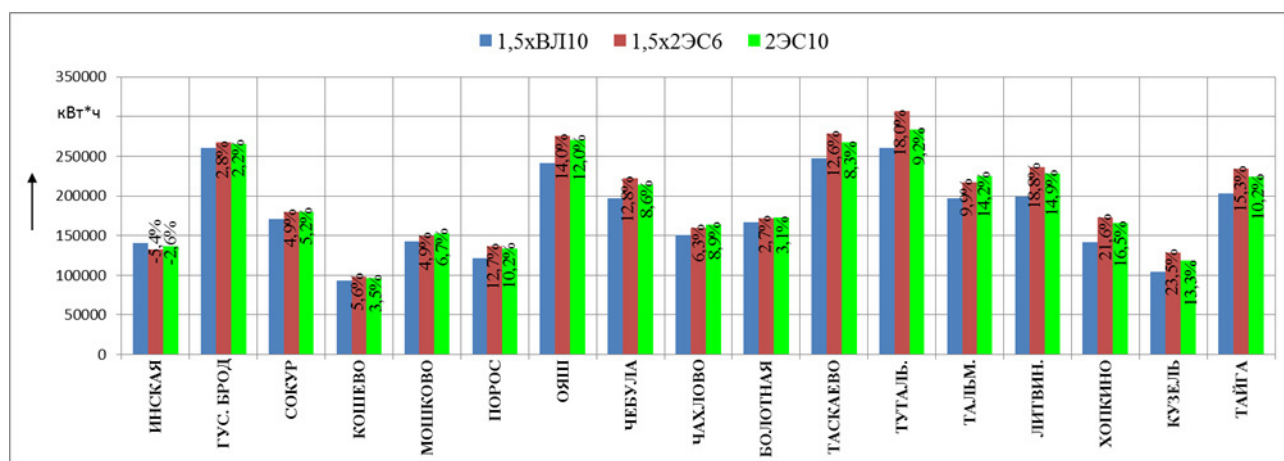
На рисунках 1,2 (а) красной пунктирной линией выделена максимально допустимая тяговая 1-минутная перегрузка выпрямителей подстанции с одним выпрямителем в работе, а сплошной – с двумя [3].

Как видно из графиков, чем более резкопеременный профиль пути на участке тем больше разница в токовых нагрузках на преобразователи тяговых подстанций зависит от типа локомотивов в пакете поездов. Причём применение локомотива 2ЭС10 на участках с резкопеременным профилем даёт ряд преимуществ. Благодаря большой мощности локомотива нет необходимости в применении кратной тяги, как в случае с 2ЭС6. Поэтому, как видно из графика рисунка 2 (а) нагрузка на преобразовательные агрегаты тяговых подстанций

значительно снижается, а при кратной тяге 2ЭС6 видна перегрузка при определённом неблагоприятном скрещении поездов на межподстанционной зоне Таскаево – Тутальская.



а)



б)

Рисунок 2 – Изменение полуминутной тяговой нагрузки на полупроводниковые выпрямители при тяге локомотивами ВЛ10, 2ЭС6 и 2ЭС10 на участке с резкопеременным профилем Инская – Тайга

Изменение расхода электроэнергии на тягу поездов в зависимости от типа эксплуатируемого локомотива приведено на рисунках 1,2 (б). Так, применение на участке Омск – Татарская в качестве тягового электровоза 2ЭС10 вместо ВЛ10 увеличивает расход электроэнергии при следовании в среднем на 22 %, а при электровозе 2ЭС6 – на 7 %. На участке Инская – Тайга ситуация несколько другая – в режиме кратной тяги электровозом 2ЭС6 с дополнительной третьей

секцией расход электроэнергии увеличивается на 10,6% относительно ВЛ10, в то время как при тяге 2ЭС10 в одиночном исполнении – на 8,5%.

Загрузка силовых трансформаторов, рассчитанная по аналогичному графику в КОРТЭС, приведена в таблице 2.

Таблица 2

Загрузка силовых трансформаторов тяговых подстанций при тяге
электровозами ВЛ10, 2ЭС6 и 2ЭС10

ТПС	Коэффициент 1-минутной загрузки трансформатора			Коэффициент 20-минутной загрузки трансформатора		
	ВЛ10	2ЭС6	2ЭС10	ВЛ10	2ЭС6	2ЭС10
Омск	1,10	1,61	1,90	0,35	0,39	0,43
Густафьево	0,95	1,04	1,17	0,47	0,49	0,57
Сыропятская	1,40	1,32	1,41	0,39	0,42	0,46
Кормиловка	1,20	1,35	1,39	0,25	0,27	0,3
Калачинская	0,84	0,89	0,90	0,35	0,38	0,41
Валерино	1,05	1,06	1,18	0,32	0,34	0,40
Колония	1,10	1,06	1,12	0,3	0,32	0,35
Каратканск	0,82	0,88	0,94	0,28	0,33	0,38

Как видно из таблицы, при переходе с тяги электровозом ВЛ10 на 2ЭС6 и 2ЭС10 значительно возрастает именно 1-минутная нагрузка на силовые трансформаторы, в то время как длительная изменяется незначительно. Это происходит из-за того, что обладая большей мощностью, новые электровозы способны за счёт высоких, но непродолжительных токов, быстрее набирать режимную скорость на участке, но после её достижения разница токов электровозов в 20-минутном усреднении незначительна.

По результатам исследования можно сделать вывод, что для повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения на участках с резкопеременным профилем рациональнее применение электровозов серии 2ЭС10, т.к. за счёт большей чем у 2ЭС6 мощности он может тянуть состав одним локомотивом без применения дополнительной секции с меньшим расходом и потерями электроэнергии. Но на участках с ровным продольным профилем пути применение электровозов 2ЭС10, при существующих критических весовых нормах нецелесообразно, ввиду повышенного расхода электроэнергии и малой загрузке электровоза.

Список литературы

1. Приказ № ЦТ-227 от 17.10.2019 «Об установлении норм масс и длин пассажирских и грузовых поездов на участках, обслуживаемых Западно-Сибирской дирекцией тяги».
2. Приказ №178 от 15.07.2019 «О допустимых межпоездных интервалах по устройствам тягового электроснабжения».
3. СТО РЖД 07.021.6–2019 «Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки. Методика выбора уставок защит силовых трансформаторов тяговых подстанций, автотрансформаторных пунктов и трансформаторных подстанций».

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Полевых Дмитрий Валерьевич
Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Подвижной
состав электрических железных
дорог» ОмГУПС
Тел.: +7-913-632-01-43.
E-mail: dima199100@ mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Polevykh Dmitriy Valeryevich
Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Postgraduate, Chair «Rolling Stock of Electric
Railways» OSTU.
Phone: +7-929-364-42-44.
E-mail: dima199100@ mail.ru.

УДК 629.42:629.4.054, 625.28

О. С. Абляимов

Ташкентский государственный транспортный университет (ТГТУ),
г. Ташкент, Республика Узбекистан

ОБОСНОВАНИЕ СРЕДНИХ НОРМ РАСХОДА ЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ ЛОКОМОТИВАМИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Предлагается методика расчёта средних норм расхода энергии на тягу поездов, основу обоснования которых составляют дифференцированные нормы расхода энергии для средних условий организации перевозочной работы локомотивов в эксплуатации. Внедрение методики расчёта и корректных значений средних норм расхода энергии в практику работы локомотивного комплекса железных дорог обеспечит наиболее рациональное использование топливно – энергетических ресурсов на тягу поездов.

Ключевые слова: исследование, результат, грузовой поезд, тепловоз, эксплуатация, расход топлива, нормирование, перевозочная работа.

JUSTIFICATION OF AVERAGE ENERGY CONSUMPTION RATES FOR TRACTION OF TRAINS BY LOCOMOTIVES IN OPERATION

A method is proposed for calculating the average rates of energy consumption for traction of trains, the basis of which is based on differentiated rates of energy consumption for average conditions of organizing the transportation of locomotives in operation. The introduction of the calculation methodology and correct values of average energy consumption rates in the practice of the locomotive complex of railways will ensure the most rational use of fuel and energy resources for train traction.

Keywords: investigation, result, the freight train, the diesel locomotive, exploitation, fuel consumption, rationing, transportation work.

Анализ сравнительной оценки нормирования расхода энергии на тягу поездов различными существующими методами нормирования на некоторых участках Узбекской железной дороги показывает [1,2], что метод ТашИИТ [3,4] позволяет получать достаточно точные дифференцированные нормы расхода энергии локомотивами при минимальных затратах времени на организацию процесса подсчёта указанных норм по данным маршрутов машиниста.

Кроме того, дифференцированные нормы расхода энергии на тягу поездов отражают влияние на перевозочный процесс всех основных факторов материально – технической базы на участках железных дорог и организации перевозочной работы локомотивов по поездкам, а также температурные условия.

К основным факторам материально – технической базы и организации перевозочной работы локомотивов по поездкам относят профиль пути, ограничения скорости движения, серии локомотивов, род вагоном, вес или массу составов, число осей в составе, время хода поезда, число остановок и проверок тормозов и прочее.

Поэтому при расчётах средних норм расхода энергии на тягу поездов будем опираться на дифференцированную норму расхода энергии для средних условий перевозочной работы локомотивов в эксплуатации.

Общий расход энергии по депо E_d , РЖУ (НОД) E_n и дороге E с одной стороны должен соответствовать норме установленной дороге МПС-ом n^3 , а с

другой – общий расход складывается из расходов отдельных поездок, конкретные условия которых определяют фактический расход и соответственно дифференцированные нормы расхода n^{∂} . Следовательно, средние нормы расхода энергии должны определяться с учётом принятых дифференцированных норм, объёма перевозочной работы локомотивов и его распределения по вариантам. Только при соблюдении этих условий можно правильно устанавливать средние нормы расхода энергии. Увязку средних и дифференцированных норм расхода энергии удобнее всего делать по вариантам работы, так как при этом достигается хорошая точность при достаточной простоте расчётов.

Для планируемого периода работы того или иного локомотивного депо соответствующего РЖУ (НОДа), необходимо знать объём предстоящей перевозочной работы локомотивов $\sum I$, измерителей, а также ожидаемые условия её выполнения для каждого вида работы r и каждого направления n .

Средние условия выполнения работы характеризуются средним весом состава Q_p , средним числом осей в составе m_p , средним временем хода t_p поезда (технической скоростью движения V_t , км/ч) и прочее. При наличии таких данных можно определить дифференцированную норму расхода энергии для средних условий варианта работы n_r^{∂} , которая будет и средней нормой расхода энергии данного вида работы и данного направления n_r^c , и поэтому эти указанные нормы будут равны между собой, то есть $n_r^{\partial} = n_r^c$, что подтверждается следующими соображениями.

Общий расход энергии за этот период i - го варианта работы ВР можно выразить через дифференцированную норму расхода энергии для средних условий перевозочной работы локомотивов, а именно:

$$E_{zi} = n_r^{\partial} \sum I_i = f(y_{cp}) \sum I_i \quad (1)$$

где $\sum I_i$ - общий объём перевозочной работы локомотивов данного варианта, изм;

$n_r^{\partial} = f(y_{cp})$ – значение величины n_r^{∂} в зависимости от средних условий перевозочной работы локомотивов для данного варианта.

Удельный расход энергии на измеритель перевозочной работы локомотивов будет равен

$$l_{zi} = \frac{E_{zi}}{\sum I_i} = \frac{f(y_{cp}) \sum I_i}{10^{-4} \sum Q_i L_i} = \frac{[f_Q(y_{cp}) + f_m(m_p) + f_t(t_p) + f_z(z_p)]}{10^{-4} Q_p \sum L_i} \quad (2)$$

или

$$l_{zi} = \frac{E_Q^c + E_m^c + E_t^c + E_z^c}{10^{-4} Q_p \Sigma L_i}, \text{ кг/изм} \quad (2')$$

Согласно выражения (13) [1] $n_r^\partial = f(y_{cp})$ представлено суммой $n_r^\partial = f_Q(Q_p) + f_m(m_p) + f_t(t_p) + f_z(z_p)$ и соответственно $E_{zi} = E_Q^c + E_m^c + E_t^c + E_z^c$, где E_Q^c, E_m^c, E_t^c и E_z^c - соответствующие слагаемые (составляющие) для средних условий перевозочной работы локомотивов, кг.

С другой стороны, общий расход энергии для варианта работы ВР можно выразить через дифференцированные нормы расхода энергии каждой поездки n_i^∂ таким образом

$$E_{zi} = \Sigma n_i^\partial I_i = n_z^c \Sigma I_i \quad (3)$$

Откуда средняя норма расхода энергии данного варианта составит $n_z^c = \frac{\Sigma n_i^\partial I_i}{\Sigma I_i}$

Выразим величину n_z^c также

$$n_z^c = \frac{\Sigma n_i^\partial I_i}{\Sigma I_i} = \frac{\Sigma f_Q(Q_i)I_i + \Sigma f_m(m_i)I_i + \Sigma f_t(t_i)I_i + \Sigma f_z(z_i)I_i}{\Sigma I_i} \quad (4)$$

где $f_Q(Q_i)$ - имеет неизменное для всех Q_i аналитическое выражение; тоже для $f_m(m_i), f_t(t_i)$ и $f_z(z_i)$.

Поэтому будем иметь

$$\Sigma f_Q(Q_i)I_i = f_Q(Q_p) \Sigma I_i; \quad \Sigma f_m(m_i)I_i = f_m(m_p) \Sigma I_i \quad (5)$$

$$\Sigma f_t(t_i)I_i = f_t(t_p) \Sigma I_i; \quad \Sigma f_z(z_i)I_i = f_z(z_p) \Sigma I_i \quad (6)$$

Такие же выражения содержатся и в выражении (2), что подтверждает справедливость равнозначности величин n_r^∂ и n_r^c .

Дифференцированная норма i - го варианта работы ВР для средних условий определяется по имеющимся таблицам нормирования расхода энергии на тягу поездов и будет составлять

$$E_{ri} = (Q_p, m_p, t_p, Z_p, P_T^*) = E_Q^c + E_m^c + E_t^c + E_z^c, \text{ кг} \quad (7)$$

а удельная норма указанного варианта работы ВР составит

$$n_{ri}^\partial = \frac{E_{ri}}{\Sigma I_i} \quad (8)$$

Имея величину n_r^∂ для каждого варианта работы ВР, можно определить общий (E_r) и средний на измеритель (e_r) расход энергии данного вида работы всех направлений (n) данного депо (d) и данного РЖУ (НОД), а именно:

$$E_{zd} = \sum_{n=0}^N n_{zi}^{\partial} I_{zn} \text{ и } e_{zd} = \frac{E_{zd}}{\sum_{n=0}^N I_{zn}} \quad (9)$$

где $\sum_{n=0}^N I_{zn}$ – объём перевозочной работы локомотивов данного вида для депо, РЖУ (НОД) и дороги в целом, измерителей.

N – число видов работы.

Аналогично определяется общий и средний расходы энергии по всем видам работы депо, РЖУ (НОД) и дороги (см. описание алгоритма расчёта средних норм). Затем, рассчитанные средние расходы энергии должны быть скорректированы с учётом заданной МПС-ом дороге нормой n^3 .

Таким образом, рассчитывают планируемые средние нормы расхода энергии по каждому виду перевозочной работы локомотивов и в целом по всем указанным видам работы для депо, РЖУ (НОД) и дороги. Депо получит при этом средние нормы, учитывающие предстоящий объём перевозочной работы локомотивов и условия его выполнения по каждому виду работы, а также и действующие дифференцированные нормы расхода энергии. Всё это позволит значительно улучшить обоснованность планирования средних норм расхода энергии, и, следовательно, повысить ответственность локомотивного депо за их выполнение.

При анализе итогов расчёта расхода энергии, необходимо учитывать действительные условия перевозочной работы локомотивов, при которых получен фактический расход энергии E_{ϕ} и соответственно расход энергии на измеритель e_{ϕ} кг/изм., отражённые по вариантам работы в маршрутах машиниста и отчётности ТХО1.

Если запланированные средние условия перевозочной работы локомотивов по вариантам совпадут с фактическими средними условиями, то средние запланированные нормы расхода энергии должны соответствовать полученным в действительности результатам.

Когда расходы энергии по нормам не совпадут с действительными расходами энергии, расхождения могут быть отнесены за счёт допускаемых машинистами отступлений от принятых оптимальных режимов ведения поезда.

Если запланированный объём перевозочной работы локомотивов и условия его выполнения будут отличаться от фактических значений, то и запланированные нормы не совпадут с выполненными расходами энергии из-за указанного расхождения. В таких случаях причины отклонений в расходах энергии следует относить не только к работникам локомотивной службы.

Расчёты средних норм расхода энергии по фактически сложившимся условиям перевозочной работы локомотивов и фактическому объёму указанной работы депо, что отражается в отчётности ТХО1, будут наиболее объективно

характеризовать достижения и недостатки работников депо и других служб по использованию энергии.

Конечно, возможны и случаи, когда несовпадение фактических и запланированных норм расхода энергии будет определяться как отклонениями объёма перевозочной работы локомотивов и условий работы, так и отклонениями в режимах ведения поезда.

В заключении можно сделать вывод, что правильные расчёты средних норм расхода энергии будут способствовать усилению борьбы за рациональное использование топливно – энергетических ресурсов на тягу поездов и улучшит анализ итогов работы локомотивов в депо и на дороге в целом.

Список литературы

1. Абляимов, О. С. Эффективность методов нормирования расхода энергии на тягу поездов / А. В. Толкачёв, О. С. Абляимов. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1974. – Выпуск 105. – С. 27–35.
2. Толкачёв, А. В. Расчёты норм расхода энергии на перевозочную работу локомотивов методом расчленения / А. В. Толкачёв. – Текст : непосредственный // Тр. ТашИИТ. – 1973. – Выпуск 100. – С. 43–54.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Абляимов Олег Сергеевич

Ташкентский государственный
транспортный университет (ТГТУ).
ул. Элтузар, д. 25, г. Ташкент, 100167,
Республика Узбекистан.

Кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, и.о. профессора
кафедры «Локомотивы и локомотивное
хозяйство» ТГТУ.

Тел. +998371-254-52-16.

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ablyalimov Oleg Sergeyevich

Tashkent state transport university (TSTU).
25, Eltuzar str., Tashkent, 100167,
the Republic of Uzbekistan.

Doctor of philosophy, chief scientific worker,
acting professor of the chair «Locomotives
and locomotive, economy» TSTU.

Phone: +998371-254-52-16.

E-mail: o.ablyalimov@gmail.com.

М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЯГИ НА МЦК ПРИ ВНЕДРЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПИЛОТНОГО ВОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

В статье описываются основные результаты сравнительного анализа энергоэффективности работы Московского центрального кольца для вариантов с использованием действующих режимов вождения поездов и энергооптимальных режимов. Показано, что реализация энергооптимальных режимов способна привести к снижению энергопотребления по счетчикам тяговых подстанций на 13,3 %. Также отмечено, что максимальная реализация потенциала рекуперативного торможения для данного полигона не приведет к повышению уровня энергоэффективности, поскольку будет сопровождаться излишними энергозатратами на разгон и тягу электропоездов. При этом автоматизация режимов вождения поездов, в том числе при переходе на беспилотное управление поездами, способна качественно улучшить процессы энергопотребления и рекуперации электропоездов и повысить энергоэффективность работы полигона.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, система тягового электроснабжения, энергия рекуперации, электропоезда, тяговые подстанции

Mikhail M. Nikiforov, Alexander S. Vilgelm

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

ENSURING THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC TRACTION AT THE MCC WITH THE IMPLEMENTATION OF THE TECHNOLOGY OF UNMANNED DRIVING OF ELECTRIC TRAINS

The article describes the main results of a comparative analysis of the energy efficiency of the Moscow Central Ring for options using the existing modes of train driving and energy optimal modes. It is shown that the implementation of energy-optimal modes can lead to a 13.3% reduction in energy consumption by the meters of traction substations. It was also noted that the maximum realization of the regenerative braking potential for this landfill will not lead to an increase in the level of energy efficiency, since it will be accompanied by unnecessary energy consumption for acceleration and traction of electric trains. At the same time, the automation of train driving modes,

including during the transition to unmanned train control, can qualitatively improve the processes of energy consumption and recuperation of electric trains and increase the energy efficiency of the landfill.

Keywords: energy efficiency, traction power supply system, recuperation energy, electric trains, traction substations

Беспилотное движение пассажирских поездов сегодня является одной из наиболее перспективных и передовых технологий, внедряемых на сети железных дорог России. И не случайно, что пилотным полигоном для реализации этой технологии в нашей стране стало Московское центральное кольцо (МЦК) [1]. Движение электропоездов на МЦК характеризуется динамичностью – интенсивными ускорениями, частыми торможениями при небольших межпоездных интервалах. В этой связи актуальным для полигона МЦК является вопрос повышения уровня автоматизации поездной работы. Так на третьем уровне автоматизации предполагается внедрение систем автоведения электропоездов с присутствием в кабине машинистов, а на четвертом уровне – реализацию систем «беспилотного» управления поездами в отсутствии в кабине локомотивной бригады.

При этом повышение энергоэффективности на МЦК может быть достигнуто за счет использования выпрямительно-инверторных преобразователей и накопителей электрической энергии в системе тягового электроснабжения (СТЭ). Подробно такой подход описан и проанализирован в [2 – 4]. Другим же способом обеспечения энергетической эффективности на МЦК можно считать внедрение в системы управления электропоездами энергооптимальных режимных карт вождения.

Ранее была выполнена оценка эффективности способов ведения электропоездов [5], которая позволила установить, что более раннее завершение разгона (до меньшего значения скорости) и, как следствие, более позднее начало торможения электропоезда на отдельных перегонах способствуют экономии электроэнергии. В данном случае при невыполнении нормы по рекуперации машинисты электропоездов МЦК достигали значения показателя разницы расхода энергии и рекуперации на 40 % ниже, чем машинисты, которые использовали набор скорости до большего значения и далее более раннее торможение с большими значениями рекуперации.

Специалистами ОмГУПС была разработана имитационная модель для моделирования работы СТЭ на МЦК [6, 7]. Погрешность определения количества отпущенной электроэнергии с шин тяговых подстанций по данной модели составляет не более 4 % в сравнении с фактическим расходом электроэнергии по счетчикам тяговых подстанций.

На основе данной модели были выполнены два типа тяговых расчетов: расчеты, охватывающие все характерные действующие на МЦК режимы вождения поездов, и расчеты на основе наиболее энергоэффективных режимов вождения, полученных при обработке данных регистраторов параметров движения поездов за экспериментальные сутки [5].

Энергооптимальные тяговые расчеты показали уменьшение расхода электроэнергии на тягу поездов за вычетом рекуперации в сравнении с первым расчетом – в нечетном направлении на 20,9 %, в четном на 6,3 %.

Эти два варианта тяговых расчетов были положены в основу двух идентичных расчетных графиков движения поездов. По результатам электрических расчетов энергообеспечения тяги поездов с использованием действующих параметров и характеристик СТЭ МЦК по двум расчетным вариантам получены следующие результаты.

В ходе расчетов было установлено, что за счет энергоэффективных режимов вождения поездов в границах полигона МЦК возможно обеспечить снижение следующих показателей:

- абсолютный и удельный расход электроэнергии, отпущенной на тягу поездов по счетчикам тяговых подстанций, на 13,3 %;

- абсолютный и удельный расход электроэнергии на тягу поездов по счетчикам электропоездов на 14,3 %;

- объем энергии рекуперации и удельную рекуперацию на 15,5 %;

- технические потери электроэнергии в СТЭ на 0,45 %;

- технические потери энергии рекуперации в СТЭ на 0,25 %.

Суммарные потери для базового и энергоэффективного вариантов составили соответственно 11054 и 9541 кВт·ч. При использовании энергосберегающих режимов вождения поездов все составляющие потерь энергии в СТЭ сокращаются.

Стоит отметить, что даже при сокращении объема рекуперации на 15,5 % расход энергии по тяговым подстанциям значительно снижается за счет

сокращения объема потребления электроэнергии поездами вследствие применения более энергоэффективных режимов тяги.

Анализ суточных балансов абсолютной энергии рекуперации на полигоне МЦК для первого и второго вариантов расчета показывает, что общая реализованная энергия рекуперации включает в себя потери энергии при ее передаче от рекуперирующего поезда к другим поездам, находящимся в режиме тяги, и ту часть энергии рекуперации, которая используется эффективно, т.е. на тягу поездов полигона МЦК. Вторая величина с применением энергосберегающих режимов ведения поездов сокращается. Объем рекуперации, который может быть реализован при наличии на всех тяговых подстанциях МЦК инверторов и максимальном использовании рекуперации по расчетам составил порядка 140 тыс. кВт·ч. Из этой величины реализованной может быть доля в 80,4 % (при первом варианте расчета). Потенциал же для повышения энергоэффективности рекуперации при этом составит 19,6 %, т.е. порядка 27 тыс. кВт·ч в сутки.

Для энергоэффективных режимов ведения поездов наряду со снижением объемов рекуперации (на 15,5 %) снижаются и потери энергии рекуперации. Доля реализованной энергии рекуперации при этом составит 67,9 %, а величина нереализованной энергии, как следствие, увеличивается до 32,1 %, образующих потенциал рекуперации на полигоне МЦК для данного случая.

Однако, основным выводом настоящего исследования стало то, что стремиться к реализации этого потенциала нецелесообразно, поскольку для увеличения объемов энергии рекуперации вероятнее всего машинистам потребуются понести дополнительные затраты электроэнергии на тягу для предваряющих рекуперацию разгонов поезда и более поздних и динамичных торможений. При этом абсолютный и удельный расходы энергии по счетчикам тяговых подстанций возрастут, и для компенсации этого роста за счет реализации потенциала рекуперации придется решать задачи по установке на тяговых подстанциях инверторов и организацией сальдированного учета электроэнергии при взаиморасчетах с энергосбытовой компанией.

Внедрение же систем автоведения и беспилотного управления при условии реализации в них алгоритмов управления электропоездами, основанных на энергоэффективных режимах разгона и торможения, способны исключить влияние человеческого фактора на выбор режимов ведения поезда не способствующих повышению энергоэффективности на участке в целом.

Выполненные расчеты показали, что за счет внедрения энергооптимальных режимов вождения поездов на полигоне МЦК возможно снизить на 13,3 % расход электроэнергии на тягу поездов по сравнению с существующим уровнем. При этом сократится и объем рекуперации по счетчикам электропоездов, а также и суммарное потребление электроэнергии по счетчикам электропоездов на 14,3 %. Таким образом, использование энергооптимальных режимов вождения поездов на полигоне МЦК при реализации алгоритмов управления беспилотным движением поездов позволяет существенно повысить энергоэффективность работы МЦК.

Список литературы

1. Андреев, В. Е. Перспективы применения беспилотных технологий в ОАО «РЖД» / В. Е. Андреев. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 8. – С. 33–35. – ISSN 0044-4448.
2. Вильгельм, А. С. Пути повышения энергоэффективности на Малом кольце Московской железной дороги с использованием инверторов / А. С. Вильгельм, В. Л. Незевак, В. Т. Черемисин. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2014. – № 3 (42). – С. 90–94. – ISSN 1815-9400.
3. Черемисин, В. Т. Оценка потенциала повышения энергоэффективности Московского центрального кольца за счет применения выпрямительно-инверторных преобразователей / В. Т. Черемисин, М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2019. – № 3 (39). – С. 57–67. – ISSN 2220-4245.
4. Никифоров, М. М. Повышение энергетической эффективности Московского центрального кольца в условиях применения рекуперативного торможения и накопителей электрической энергии / М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм, О. О. Комякова // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : материалы научной конференции / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск : ОмГУПС, 2018. – С. 286–293. – Текст : непосредственный.
5. Ушаков, С. Ю. Оценка эффективности использования электроэнергии на тягу поездов в границах полигона Московского центрального кольца / С. Ю. Ушаков, А. С. Вильгельм, М. М. Никифоров. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 5 (77). – С. 40–50. – ISSN 1997-0722.

6. Никифоров, М. М. Аprobация расчетной модели системы тягового электроснабжения железных дорог постоянного тока для оценки потенциала энергоэффективности рекуперативного торможения / М. М. Никифоров, А. С. Вильгельм, В. И. Гутников. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2014. – № 1 (17). – С. 50–57. – ISSN 2220-4245.

7. Вильгельм, А. С. Разработка имитационной модели работы системы тягового электроснабжения Московского центрального кольца для оценки потенциала повышения энергоэффективности тяги поездов / А. С. Вильгельм, А. Л. Каштанов, М. М. Никифоров. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2019. – № 4(63). – С. 58–63. – ISSN 1815-9400.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Никифоров Михаил Михайлович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046,
Российская Федерация.
Кандидат технических наук, заместитель
директора Научно-исследовательского
института энергосбережения на
железнодорожном транспорте ОмГУПС.
Тел.: (381-2) 44-39-23.
E-mail: nikiforovmm@rambler.ru.

Вильгельм Александр Сергеевич

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.: (381-2) 44-39-23.
E-mail: vilgelm87@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikiforov Mikhail Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Cand.Tech.Sci, deputy director,
Research Institute for Energy Efficiency
in Railway Transport OSTU.
Phone: (381-2) 44-39-23.
E-mail: nikiforovmm@rambler.ru.

Vilgelm Alexander Sergeevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx st., Omsk, 644046,
the Russian Federation.
Cand.Tech.Sci, Assistant Professor of the
Department «Rolling stock of electric
railways» OSTU.
Phone: (381-2) 44-39-23.
E-mail: vilgelm87@gmail.com.

Б. М. Москалюк, И. Е. Чертков

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

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОКОСЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

В статье проведен анализ общих методов расчета ударных воздействий, возникающих при наезде токоприемника на препятствие на контактной подвеске. Сформулированы выводы и рекомендации при выборе методов расчета ударных воздействий с учетом особенностей движения электроподвижного состава.

Ключевые слова: токоприемник, устройство аварийного опускания, метод, расчет, удар, повреждение, контактная сила.

Boris M. Moskayuk, Ivan E. Chertkov

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

APPLICATION OF METHODS FOR CALCULATING SHOCK EFFECTS THAT OCCUR DURING THE OPERATION OF CURRENT- COLLECTING DEVICES

The article analyzes General methods for calculating the impact of electric rolling stock current collectors when hitting an obstacle. Conclusions and recommendations were made when choosing calculation methods taking into account the peculiarities of electric rolling stock movement.

Keyword: current collector, emergency lowering device, method, calculation, impact, damage, contact force.

При взаимодействии токоприемника с контактной подвеской возникают различные процессы, которые постоянно изменяются с течением времени в пределах установленных значений, регламентируемых соответствующими требованиями. При возникновении отклонений от нормальных параметров возникают процессы повышенного износа элементов, как токоприемника, так и

контактной подвески. Удар токоприемника о препятствие, в отличие от остальных процессов, отличается тем, что он носит мгновенный временной характер, при этом чем выше сила удара, тем необратимее могут быть его последствия, начиная от повреждения элементов токоприемника и заканчивая выходом из строя участка контактной сети.

Для предотвращения таких аварийных ситуаций при наезде токоприемника на препятствие на контактной сети, в конструкции токоприемников устанавливают устройства аварийного опускания.

В процессе наезда на препятствие на контактной сети, оказавшееся в зоне контакта верхнего узла токоприемника с контактным проводом, элементы токоприемника испытывают колоссальную ударную силу, при которой может нарушиться токосъем. В этом случае устройство аварийного опускания должно оперативно среагировать для предотвращения возможного отказа и минимизации последствий повреждений элементов контактной сети и токоприемника.

При проектировании токоприемника в него закладывают различные конструкционные параметры, которые должны отвечать стандартам [1] и зависят от типа электроподвижного состава и скоростей его движения, условий эксплуатации и др. Поэтому при проектировании устройства аварийного опускания необходимо знать на каком токоприемнике оно будет установлено, скоростной режим и климатическую зону работы устройства, параметры элементов, которые потенциально могут стать препятствием в зоне контакта токоприемника и контактного провода. Все эти перечисленные факторы должны учитываться при расчете устройства аварийного опускания и от них зависит выбор метода их расчета.

Общими характеристиками устройств аварийного опускания токоприемников являются [2]:

- 1) пределы изменения силы ударного воздействия при установившемся режиме;
- 2) коэффициент срабатывания или величина параметра;
- 3) временной показатель срабатывания, характеризующий изменение положений или усилий элементов токоприемника.

Основополагающей теорией удара является модель И. Ньютона, использующая законы классической механики, которые описывают основные принципы теории ударных систем (рисунок 1) [3]. Однако применять эту

модель для решения более конкретных задач не рекомендуется ввиду недостаточной точности, что обусловлено коэффициентом восстановления R , который интегрально отражает внутренние процессы, возникающие в телах при соударении. Его величина для тел зависит не только от свойств материалов соударяемых тел, но и от их форм, размеров, скорости соударения.

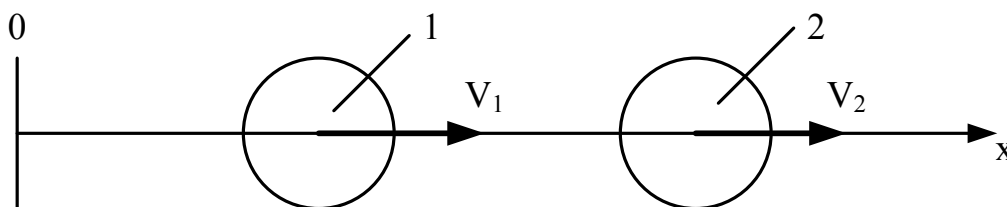


Рисунок 1 – Соударение поступательно движущихся абсолютно твердых тел

Задача рассмотрения модели Ньютона – исследование движения соударяемых тел на больших интервалах времени по сравнению с которыми допустимо считать удар мгновенным, но данная модель не решает задачу определения сил, действующих при различных видах движения. Мгновенный удар в модели Ньютона принимается как бесконечно большая сила, а, следовательно, решать задачи на прочность не представляется возможным.

Для расчета силы ударного воздействия в теории механического удара существуют различные методы и модели представления соударяющихся элементов [4]. Базовой моделью для расчета силы удара является теория контактного взаимодействия Г. Герца, в которой лежат два основных положения: первое – при взаимодействии соударяющихся тел существенным являются местные деформации в зоне контакта, а общие деформации тел малы по сравнению с местными и ими пренебрегали; второе – зависимость контактной силы от контактной деформации при ударе остается такой же, как и при статическом сжатии тел. При помощи таких положений, задача удара сводится к задаче исследования относительного движения твердых тел, взаимодействующих между собой через упругий элемент (рисунок 2).

Свойства упругого элемента, моделирующего контактные деформации соударяющихся тел, проявляются лишь при сжатии, на растяжение упругий элемент не работает. Контактная сила в этом случае определяется следующим выражением:

$$P(\alpha) = \begin{cases} k\alpha^{\frac{3}{2}}, & \text{если } \alpha \geq 0; \\ 0, & \text{если } \alpha < 0, \end{cases}$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от кривизны поверхности тел в точке контакта и свойств материала; α – сближение центра масс тел во время удара.

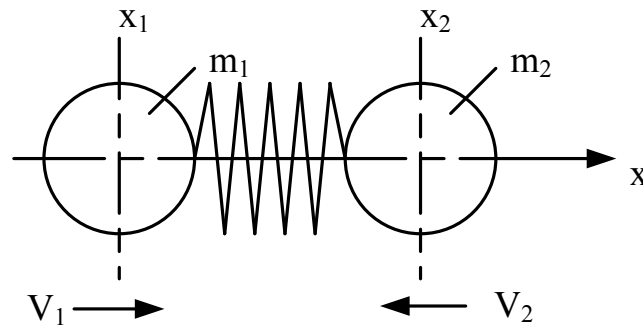


Рисунок 2 – Схема соударения тел, учитывающая их местные деформации

Энергетическая модель удара базируется на приемах приближенной оценки максимальных усилий при соударении тел, использующие теорему об изменении кинематической энергии тел и предположениях о характере их деформации (рисунок 3).

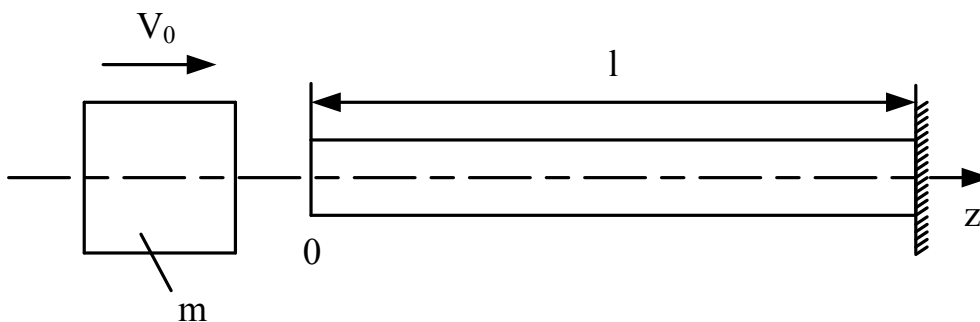


Рисунок 3 – Схема продольного соударения жесткого тела с закрепленным упругим стержнем

Кинетическая энергия тела T к моменту его остановки преобразуется в потенциальную энергию деформации стержня U , все сечения которого находятся в одинаковом напряженном состоянии: $T = U$, т.е.:

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{\sigma^2 Fl}{2E} = \frac{P_{\max}^2 l}{2EF},$$

где m – масса ударника; V_0 – его предударная скорость; E , F , l – модуль упругости, площадь поперечного сечения и длина стержня; $P_{\max}$ – максимальная сила удара.

В основу метода для оценки максимальной ударной силы может быть положена не только теорема об изменении кинетической энергии в системе, но

и теорема импульсов, условие сохранения количества движения системы соударяемых тел. В общем случае при ударе тела с распределенной массой деформации, возникающие в нем, являются функцией координаты и времени. Для этого используют модель Релея, где смещение сечений тела представлено:

$$x(z, t) = f(t)\varphi(z),$$

где $x(z, t)$ – смещение сечения тела; $\varphi(z)$ – некоторая задаваемая функция, зависящая от координаты z ; $f(t)$ – функция, зависящая от времени и подлежащая определению.

Тогда, величина ударной силы при этом будет равна:

$$P = EF \left(\frac{\partial x}{\partial z} \right) = EF f(t) \varphi'(z).$$

Теория Г. Герца учитывает механические параметры соударяющихся тел (сила, момент, напряжение) с целью определения их критических значений, при которых в элементах соударения, а в частности в верхнем узле токоприемника, будут происходить изменения их от нормального состояния до критического, т.е. возникновение деформации, вплоть до их разрушения. На основании полученных данных, мы можем определить основные параметры устройства аварийного опускания токоприемника, при которых оно должно срабатывать. Но она применима в случае прямого удара (т.е. вектор силы ударного воздействия совпадает с линией центра масс соударяющихся тел). В случае непрямого удара, данного метода недостаточно, т.к. при таком взаимодействии соударяющихся элементов возникает дополнительная сила, пропорциональная расстоянию от центра масс тела и точки ударного контакта.

От особенностей эксплуатации токоприемников электроподвижного состава на магистральных железных дорогах будет зависеть выбор метода расчета ударного воздействия токосъемных устройств при наезде на препятствие на контактной подвеске.

Список литературы

1. ГОСТ 32204-2013. Токоприемник железнодорожного электроподвижного состава. Общие технические условия = Current collectors of railway electric rolling stock. General specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2013 г. № 1477-ст : введен впервые : дата введения

2014–06–01 / подготовлен Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИНМАШ). – Москва: Стандартинформ, 2014. – 24 с. – Текст : непосредственный.

2. Чертков, И. Е. Защита токосъемных устройств от продольных динамических возмущений : специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чертков Иван Евгеньевич; Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2005. – 136 с. – Текст : непосредственный.

3. Пановко, Я. Г. Введение в теорию механического удара / Я. Г. Пановко. – Москва : Наука, 1977. – 224 с. – Текст : непосредственный.

4. Алимов, О. Д. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах / О. Д. Алимов – Москва : Наука, 1985. – 358 с. – Текст : непосредственный.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Москалюк Борис Михайлович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,
Российская Федерация.
Аспирант кафедры «Электроснабжение
железнодорожного транспорта» ОмГУПС.
Тел.: (3812) 31-34-46.
E-mail: MoskalyukBM@omgups.ru.

Чертков Иван Евгеньевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС).
Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644000,
Российская Федерация.
Доцент кафедры «Электроснабжение
железнодорожного транспорта» ОмГУПС.
Тел.: (3812) 31-34-46.
E-mail: ChertkovIE@omgups.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Moskalyuk Boris Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644000,
the Russian Federation.
Postgraduate student of the Department «
Electricity railway transport» OSTU.
Тел.: (3812) 31-34-46.
E-mail: MoskalyukBM@omgups.ru.

Chertkov Ivan Evgenyevich

Omsk State Transport University (OSTU).
35, Marx av.m, Omsk, 644000,
the Russian Federation.
Associate Professor of the Department «
Electricity railway transport» OSTU.
Phone: (3812) 31-34-46.
E-mail: ChertkovIE@omgups.ru.

Научное издание

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ
ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА И ПОВЫШЕНИЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПОЕЗДОВ

Материалы пятой всероссийской научно-технической конференции
с международным участием, посвящённой
75-летию победы в Великой Отечественной войне,
85-летию кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог»,
120-летию основания Омского государственного университета
путей сообщения
(12 ноября 2020 г.)

Ответственный за выпуск Е. В. Пономарев

* * *

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 20.10.2020. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 12,7. Уч.-изд. л. 9,45.
Тираж 300 экз. Заказ

* *

Типография ОмГУПС

*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35