

На правах рукописи



Измеров Олег Васильевич

**СИНТЕЗ УЗЛОВ ЭКИПАЖНОЙ ЧАСТИ ЛОКОМОТИВА
МЕТОДАМИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ИННОВАЦИОНИКИ**

2.9.3. Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Брянск – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент,
Воробьев Владимир Иванович

Официальные оппоненты: **Буйносов Александр Петрович**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Электрическая тяга»,
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Уральский государственный
университет путей сообщения»,
(ФГБОУ ВО УрГУПС), г. Екатеринбург.

Гасюк Александр Сергеевич
кандидат технических наук, заведующий
отделом Прочности отделения «Динамика и
прочность подвижного состава и
инфраструктуры» Акционерного общества
«Научно-исследовательский и конструкторско-
технологический институт подвижного
состава», (АО «ВНИКТИ»), г. Коломна.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Российский университет
транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)),
г. Москва.

Защита состоится «28» января 2025 г. в 13:30 на заседании
диссертационного совета 99.0.149.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Брянский
государственный технический университет», АО «Научно-исследовательский
и конструкторско-технологический институт подвижного состава» по адресу:
Россия, 241035, г. Брянск, ул. Харьковская, д. 10-Б, учебный корпус № 4, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Брянский
государственный технический университет» и на сайте
<https://www.tu-bryansk.ru/mainpage/dissertatsii/izmerov-oleg-vasilevich>

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Антипин Дмитрий Яковлевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время парк локомотивов отечественных железных дорог нуждается в радикальном обновлении. При этом существует потребность в локомотивах способных работать с составами 7100 т на Восточном полигоне, в замене морально устаревших тепловозов М62 и 2М62 на малодеятельных участках. Необходимо замещение шестиосных маневровых тепловозов на четырехосные для снижения энергозатрат на разгон и торможение, а также постепенная замена локомотивов с коллекторными тяговыми электродвигателями (ТЭД) на бесколлекторные. Помимо этого, требуется модернизация эксплуатируемых локомотивов, экипажная часть которых создавалась 50–60 лет назад.

Попытка решить данную задачу путем сотрудничества с зарубежными фирмами (Siemens, Alstom, Bombardier, GE, Caterpillar и другие) не увенчалась успехом и в настоящее время стоит цель создания импортонезависимых конструкций. Анализ опыта эксплуатации новых конструкций тягового подвижного состава показал, что современные методы проектирования не позволяют в полной мере избежать конструктивных отказов (выходы из строя подвески ТЭД электровоза 2ЭС6). При этом в новых локомотивах применяются модернизированные решения, разработанные около 50 лет назад (тележка по образцу ТЭМ7 в тепловозе 2ТЭ35а, двусторонний тяговый привод электровозов и другие).

Слабым местом в проектировании узлов экипажной части остается сама методология проектирования, которая традиционно основывается на неявном предположении, что проектировщик имеет достаточно информации для проектирования. Такое допущение справедливо при создании модификаций ранее освоенных изделий, но при решении новых задач проектировщик практически всегда не имеет достаточного опыта, компетенций и исходных данных для рационального выбора конструкции.

В последние годы развивается новая концепция теории проектирования, которая получила название технической инновационики и является одним из прикладных направлений кибернетики. В этой концепции изначально полагается, что проектировщик не обладает достаточным объемом информации. Таким образом, синтез узлов экипажной части локомотива методами технической инновационики является весьма актуальной темой исследования.

Степень разработанности темы исследования. Проанализированы научные работы ученых, внесших большой вклад в развитие теоретических методов проектирования узлов экипажной части локомотивов, в первую очередь А.И. Беляева, И.В. Бирюкова, А.П. Буйносова, Л.К. Добрынина, А.С. Евстратова, А.А. Камаева, А.С. Космодамианского, В.С. Коссова, В.В. Кочергина, А. С. Курбасова, В.А. Лысака, В.Б. Медея, Г.С. Михальченко, А.П. Павленко, Е.К. Рыбникова, А.Н. Савоськина, Ю.Н. Соколова, А.А. Шацилло, а также в развитие методологии проектирования и изобретательства: Г.С. Альтшуллера, Ю.Д. Арсеньева, М.И. Вайнермана, Б.И. Голдовского, Я. Дитриха, Д. Диксона, Дж. Джонса, Р. Коллера, П.И. Орлова, А.И. Половинкина, К. Рота, Я.Ф. Таленса, Г. Шенка, П. Хилла. Данные исследователи не ставили задачи создания методов проектирования, учитывающих изначальный недостаток информации и опыта.

Цель и задачи. Целью работы является разработка методов синтеза новых узлов экипажной части локомотива. Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие задачи:

1 выполнить анализ развития методологии конструирования узлов экипажной части локомотива и выбор теоретической основы для разработки методов синтеза новых конструкций узлов экипажа, включая выбор модели конструкции;

2 разработать методы повышения эффективности натурных и полнокомплектных стендовых испытаний узлов экипажной части, включая методы оптимизации, позволяющие сократить объемы экспериментальных исследований;

3 создать методы каталогизации технических решений, разработать классификации узлов экипажной части, ориентированные на решение задач проектирования;

4 дать практические рекомендации по вопросам проектирования и инженерного анализа узлов экипажной части;

5 провести проверку разработанных методов проектирования путем создания и патентования новых технических решений узлов экипажной части.

Объектом исследования являются узлы экипажной части локомотива.

Предметом исследования являются методы проектирования и исследования узлов экипажной части локомотива.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1 разработана обобщенная объектная модель конструкции узлов экипажной части локомотива, позволяющая автоматизировать сравнение конструкций с целью получения новых патентоспособных решений;

2 разработаны методы поиска новых решений узлов экипажной части локомотива, состоящие в последовательном выборе вариантов при разных уровнях абстрагированного представления конструкции и позволяющие отказаться от методов проб и ошибок;

3 разработана модификация метода базовой точки для решения задачи оптимизации параметров узлов экипажной части, позволяющая сократить объемы экспериментальных исследований;

4 в ходе решения задачи по созданию методов повышения эффективности натурных испытаний:

- установлены причины консервативности динамических параметров механической системы тягового привода локомотива с осевым редуктором при воздействии возмущений от пути;

- выявлены ограничения возможности использования результатов математического моделирования и полигонных испытаний для прогнозирования надежности узлов экипажной части локомотива;

5 разработаны новые классификации узлов экипажной части локомотива, ориентированные на поиск новых технических решений.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1 предложено в качестве теоретической основы методов синтеза новых узлов экипажной части локомотива принять техническую инновационику, как прикладное направление кибернетики;

2 разработана методология синтеза новых узлов экипажной части локомотива;

3 доказано существование областей консервативности динамических характеристик тягового привода при изменении упруго-диссипативных свойств его

элементов и изменение статистических оценок динамических свойств привода в зависимости от протяженности участка эксплуатации, даны теоретические объяснения данным явлениям;

4 определена для тягового привода локомотива с осевым редуктором при одноступенчатом рессорном подвешивании зона консервативности динамических параметров (3...10 Гц), в пределах которой предложено выбирать варианты тягового привода по критерию технологичности конструкции;

5 дано и реализовано на практике предложение для тягового привода локомотива с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и осевым редуктором выполнять большое зубчатое колесо осевого редуктора жестким, для гашения автоколебаний оси колесной пары во время боксования;

6 определены характеристики нагруженности привода для проведения комплексных испытаний;

7 разработаны и запатентованы новые конструкции узлов экипажной части локомотива.

Методология и методы исследований. Исследования проводились с использованием системного анализа и интегрированного подхода к решению поставленных научных задач. Для теоретических исследований использованы методы алгоритмизации процессов проектирования, инженерного анализа и изобретательской деятельности и метод математического моделирования механических систем (для моделирования применена подсистема инженерных расчётов, предназначенная для имитационного математического моделирования динамических процессов). Для экспериментальных исследований использовались методы испытаний узлов экипажной части локомотивов на стендах и в реальных эксплуатационных условиях, выполненные на базе Испытательного центра подвижного состава АО «ВНИКТИ».

Положения, выносимые на защиту:

1 методы синтеза новых технических решений узлов экипажной части локомотивов;

2 методы каталогизации узлов экипажной части локомотивов и классификации-алгоритмы синтеза патентоспособных конструкций;

3 результаты исследования динамических свойств механической части тягового привода, объяснение причин консервативности динамических свойств механической системы тягового привода локомотива и влияния длины участка испытаний на статистические оценки параметров нагруженности.

Степень достоверности и апробации работы. Обеспечивается согласованием результатов расчетов, полученных на модели динамической системы тягового привода, с результатами натурных испытаний и полученными патентами на конструкции, созданными с помощью разработанных методов.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международной научно-практической конференции «Эксплуатационная надежность подвижного состава», Омск, 2013 г.; Международной научно-технической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения д.т.н., профессора Е.Я. Гаккель, Санкт-Петербург, 2013 г.; XI-ой Международной научно-практической интернет-конференции «Энерго- и ресурсосбережение - XXI век», ФГБОУ ВПО "Госуниверситет - УНПК", г. Орел, 2013 г.; XII Международной научно-практической интернет-конференции «Энерго- и ресурсосбережение – XXI век», ФГБОУ ВПО "Госуниверситет - УНПК", г. Орел, 2014 г.; III Международной научно-технической

конференции «Локомотивы. XXI век», ПГУПС Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, 2015 г.; III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2016 г.; международной научно-технической конференции АПЭП-2016, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, 2016 г.; III Международной научно-практической конференции «Современные проблемы физико-математических наук» (СПФМН - 2017) Орёл, 23 – 26 ноября 2017 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка литературы, состоящего из 136 наименований, приложения. Общий объем диссертации составляет 138 страниц машинописного текста, содержит 54 рисунка, 10 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации и дана краткая характеристика работы.

В **первой главе** на основе проведенного анализа развития методов проектирования узлов экипажной части локомотива и машиностроительных изделий в целом и выполненного обзора технической литературы сформулированы цели и задачи исследования. Доказана необходимость создания новых методов проектирования, учитывающих недостаточность накопленного опыта по созданию разрабатываемых узлов и ориентированных на поиск патентоспособных решений. При этом проектирование должно быть представлено в виде процесса, доступного для изучения, разделенного на операции и рационально построенного на основе научной теории.

Во **второй главе** представлены результаты аналитического обзора в области методологии проектирования и определены основные критерии выбора методологической базы для синтеза технических решений узлов экипажной части локомотива. Выявлены методологические процедуры, которые могут быть использованы для синтеза технических решений, на основе технической инновационики, как одного из прикладных направлений кибернетики. Предложены универсальная последовательность поиска технических решений в виде матрицы и метод проектирования алгоритмов решения изобретательских задач при поиске технических решений.

Предложена обобщенная объектная модель конструкции узлов экипажной части (рисунок 1). Модель позволяет производить сравнение технических решений по совокупности признаков и состоит из двух частей – иерархии множеств описаний узлов экипажной части при разной степени их схематизации, от набора базовых функций до описаний функциональных элементов – деталей и подконструкций, и библиотеки, содержащей описания типовых объектов – составных частей узлов экипажной части, разделенных на функциональные элементы и описанных в виде иерархической структуры функционального взаимодействия между элементами (И-графа). На уровне определения функциональных элементов привода производится поиск сходных объектов в библиотеке с помощью матриц мер сходства, и дальше процесс проектирования ведется путем видоизменения распознанных типовых узлов и деталей.

В **третьей главе** предложен комплекс алгоритмов и средств работы с данными. Комплекс включает в себя общий алгоритм инженерного анализа, алгоритмы подготовки анализа, входящие в общий алгоритм в качестве процедур.

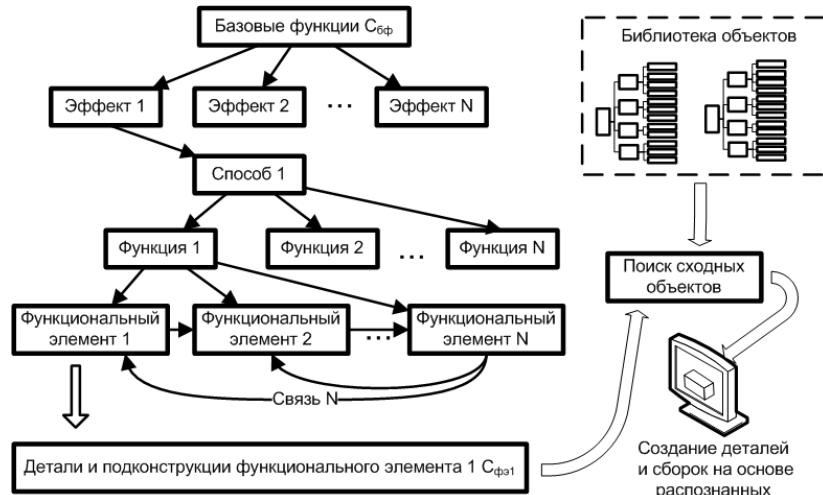
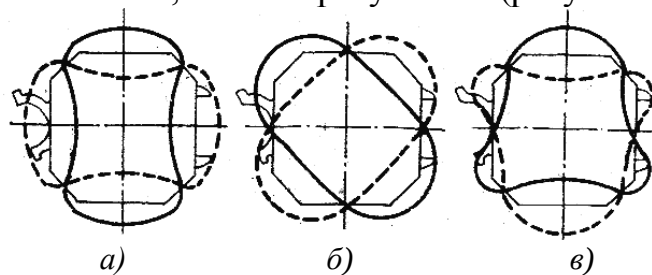


Рисунок 1 – Схема обобщенной объектной модели узлов экипажной части

К ним относятся алгоритм схематизации объекта, рекуррентный алгоритм создания системы допущений и алгоритм выбора технологии анализа. Алгоритмы проведения анализа, представляющие собой схемы его технологических процессов. К ним относятся алгоритм жизненного цикла математической модели, алгоритм построения методики эксперимента и алгоритм препроектирования эксперимента. Третьим элементом комплекса являются вспомогательные средства, к которым относятся схемы построения методических каталогов и классификация технологий инженерного анализа. Указанные алгоритмы и средства использованы при проведении натурных и стендовых испытаний тяговых приводов.

В результате анализа результатов испытаний ТЭД с опорно-осевым подвешиванием на стенде СТ143 АО «ВНИКТИ» определены основные формы колебаний остова ТЭД в условиях воздействия на остов нестационарных возмущающих усилий в широком диапазоне частот путем использования спектрально-корреляционного анализа (рисунок 2). При колебаниях с частотой 240 Гц пучности колебаний располагаются в районах главных полюсов остова, а при колебаниях 260 Гц – в районах дополнительных полюсов, что, с учетом результатов исследования колебаний остова ТЭД без подшипниковых щитов, дает основания определить формы этих колебаний, как четырехузловые (рисунок 2, а, б).



а – с частотой 240 Гц; б – с частотой 260 Гц; в – с частотой 360 Гц

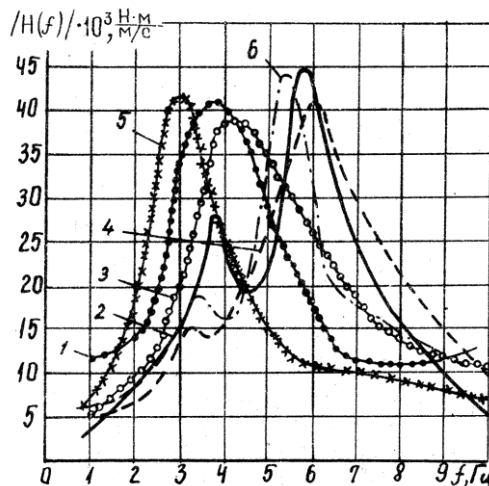
Рисунок 2 – Идентифицированные собственные формы колебаний остова

Для подъема на частоте 360 Гц максимуму функции взаимной спектральной плотности ускорений горизонтальных граней статора соответствуют минимумы функций взаимных спектральных плотностей ускорений малых граней, то есть на горизонтальных гранях статора находятся пучности колебаний, а на всех малых гранях – узлы. При этом сигналы датчиков на горизонтальных гранях статора близки к противофазным и когерентны, в отличие от сигналов датчиков, расположенных на малых гранях, то есть горизонтальные грани статора колеблются в одну и ту же сторону. Поскольку форма

колебаний на частоте 430 Гц ближайшая к четырехузловой, она была определена, как шестиузловая (рисунок 2, в). Для выяснения причин того, почему увеличение крутильной жесткости валопроводов тягового привода тепловоза 2ТЭ121 с осевым редуктором при замене упругого зубчатого колеса (УЗК) на жесткое (ЖЗК) не приводит к повышению уровня динамических нагрузок в приводе, впервые методом корреляционно-спектрального анализа получены линеаризованные оценки амплитудно-частотных характеристик тягового привода тепловоза при движении по неровностям пути при разных режимах (рисунок 3). Выявлены следующие особенности тягового привода, не учтенные при его проектировании:

- вследствие нелинейности динамической системы привода его эквивалентная жесткость в зависимости от тягового усилия меняется в 2–3 раза, а параметр затухания – в 1,2–2 раза;
- существует зона автомодельности, в пределах которой изменение крутильной жесткости и частоты собственных колебаний валопроводов привода не оказывает существенного влияния на их максимальную нагруженность при прохождении неровностей пути.

Для проверки гипотезы о консервативности параметра рассмотрена простейшая модель тягового привода с осевым редуктором (рисунок 4).



1 – штатное УЗК, выбег; 2 – то же, 15 п.к.;
3 – ЖЗК, выбег; 4 – то же, 15 п.к.; 5 – УЗК
пониженной жесткости, выбег; 6 – то же, 15 п.к.

Рисунок 3 – Оценки АЧХ

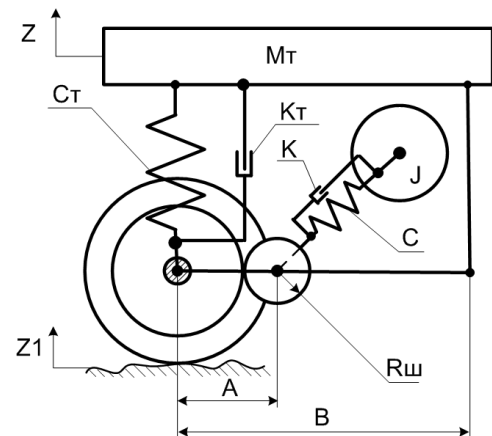


Рисунок 4 – Расчетная схема тягового привода и экипажа для проверки гипотезы консервативности оптимизируемого параметра

Движение рассматриваемой системы при наличии возмущения со стороны пути описывается следующими дифференциальными уравнениями:

$$M_T \ddot{Z} + K_T \dot{Z} + C_T Z = C_T Z_1; \quad (1)$$

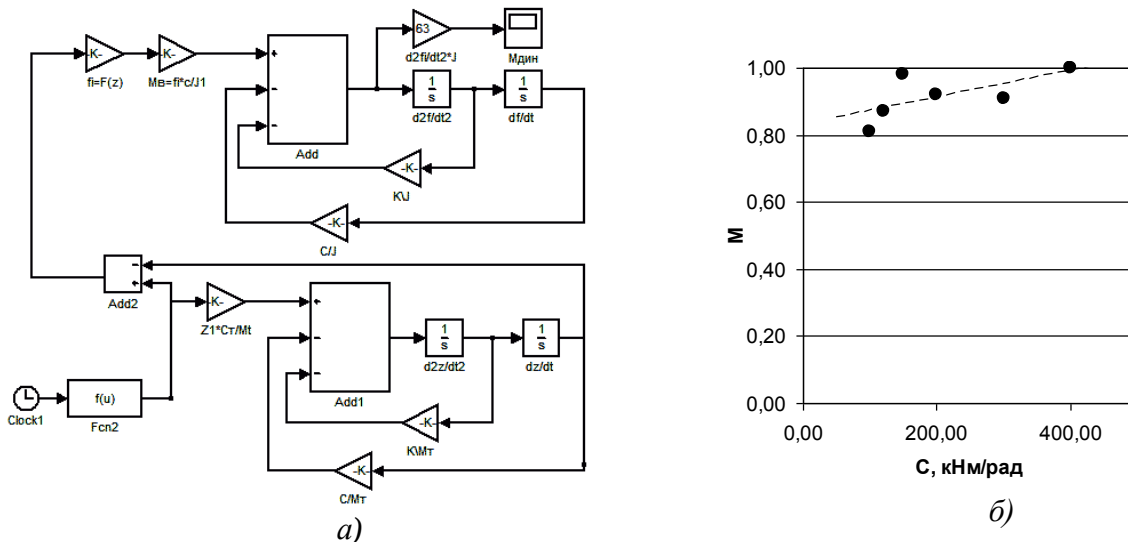
$$J \ddot{\varphi} + K \dot{\varphi} + C \varphi = C \frac{A}{B} \frac{(Z_1 - Z)}{R_{ш}}. \quad (2)$$

В качестве неровности принята типичная неровность для рельсов 25 метров по А.Н. Кудрявцеву, описываемая выражением

$$Z_1 = \left| A_1 \sin\left(\frac{1}{2} \omega t\right) + A_2 \sin\left(\frac{3}{2} \omega t\right) \right| \quad (3)$$

где $\omega = \frac{2\pi}{L} V$ – частота воздействия стыков пути, V – скорость движения, м/с; L – длина рельсового звена, м; A_1 и A_2 – коэффициенты, зависящие от высоты неровности.

Для решения использована подсистема инженерных расчётов, предназначенная для имитационного математического моделирования динамических процессов, блок-схема для которой приведена на рисунке 5, а, а результаты моделирования приведены на рисунке 5, б. Как видно из рисунка 5, б, при значительном (в 4 раза) изменении жесткости валопроводов тягового привода максимальные величины динамического момента меняются менее чем на 20 %, что дало основания считать гипотезу о консервативности исследуемого параметра в интересующем диапазоне параметров доказанной.

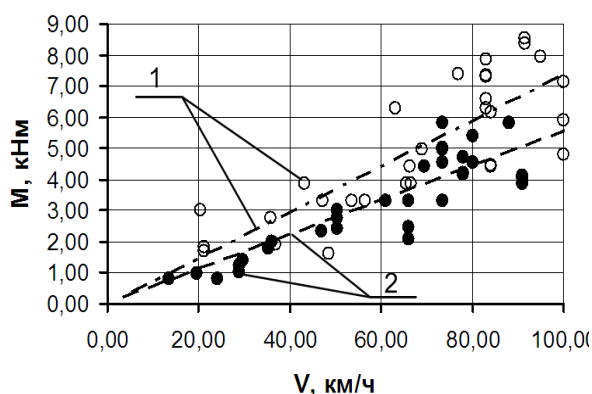


а – блок-схема модели тягового привода; б – зависимость относительного экстремального динамического момента от крутильной жесткости валопроводов в рассматриваемом диапазоне жесткостей, по результатам моделирования

Рисунок 5 – модель тягового привода и результаты моделирования

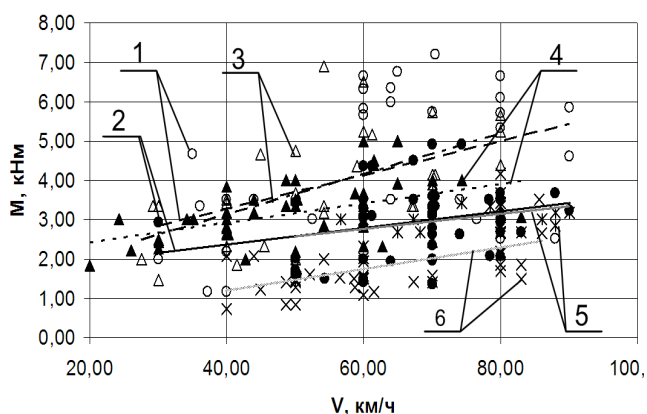
На основании прогнозируемого диапазона частот собственных колебаний тягового привода по низшей форме от 3 до 10...12 Гц для тепловоза 2ТЭ121, а также проведенного анализа возможностей рассеяния энергии автоколебаний в элементах тягового привода был рекомендован вариант с жестким зубчатым колесом, благодаря чему касательные напряжения в оси локомотива при боксовании снижены до уровня допустимых и был сделан вывод о допустимости использовать в качестве упругого элемента только торсион. Рекомендации подтвердились практической эксплуатацией тепловоза 2ТЭ121, электровозов ЭП1 и ДС3. Для упрощения оптимизации динамической системы тяговых приводов с осевым редуктором предложен алгоритм на базе видоизмененного метода базовой точки.

Путем анализа статистических оценок динамических свойств тягового привода при исследованиях на пути малой (~1 км), средней (~100 км) и большой (~1000 км) протяженности установлено, что на участке большой протяженности на получаемые статистические оценки влияет различное состояние пути в пределах участка испытаний: теряется корреляция между скоростью движения и динамическими нагрузками в приводе, характерная для участков малой протяженности, искажается зависимость динамических параметров от скорости движения при прохождении различных неровностей пути (рисунки 6, 7). Как видно из рисунков 6 и 7, на участке большой протяженности абсолютный экстремум реализации (АЭР) динамического момента в валопроводе тягового привода с осевым редуктором, растет медленнее, чем скорость движения, что вызвано введением ограничений скорости при ухудшении состояния пути, в результате чего высота неровностей пути в замерах на более высоких скоростях оказывается меньше.



1 – на выбеге, 2 – под нагрузкой

Рисунок 6 – АЭР модуля динамического момента в валопроводах тягового привода тепловоза 2ТЭ121. Участок Голутвин – Озеры



1, 2 – вставки, выбег и тяга; 3, 4 – стрелки, выбег и тяга; 5, 6 – бесстыковой путь, выбег и тяга

Рисунок 7 – АЭР модуля динамического момента в валопроводах тягового привода тепловоза 2ТЭ121. Участок Голутвин – Рязск

Таким образом, в случаях, когда необходимо получить количественные статистические оценки нагруженности узлов и деталей привода, в частности, для прогнозирования их надежности, методика моделирования или полигонных испытаний локомотива должна учитывать возможные изменения свойств пути на протяжении плеч будущей эксплуатации. В связи с этим, для решения проблемы получения статистических оценок динамической нагруженности механической системы тягового привода локомотива с осевым редуктором, были проведены исследования тепловоза 2ТЭ121 №011 с приводом данного типа на участке Воркута-Печора-Сосногорск в условиях рядовой эксплуатации, при обслуживании грузовых поездов средней массой 5554 т.

Установлено, что основные динамические характеристики тягового привода при воздействии вертикальных неровностей пути могут быть описаны следующими экспоненциальными зависимостями:

- для динамических усилий на участке Воркута-Сосногорск:

$$N = 8,665 \cdot 10^8 e^{-0,272 \cdot P} \quad (4)$$

- для вертикальных перемещений букс на участке Воркута-Сосногорск:

$$N = 2,856 \cdot 10^8 e^{-0,339 \cdot Z_6} \quad (5)$$

- для вертикальных ускорений тягового редуктора над осью колесной пары на участке Воркута – Сосногорск:

$$N = 6,149 \cdot 10^8 e^{-0,097 \cdot W} \quad (6)$$

Расхождения с аппроксимирующей зависимостью в основном отмечаются для амплитуд параметров величиной менее 20 % от максимальных, которые мало сказываются на долговечности исследуемых деталей привода, и амплитуд с повторяемостью менее 10^5 на 1,2 млн км, пробега, т.е. тех, которые встречаются менее 1 раза на 10 км пути. (что объясняется небольшим объемом выборки для столь редких нагрузок). Полученные автором результаты практически использованы при проведении в АО «ВНИКТИ» полнокомплектных испытаний тягового привода тепловоза 2ТЭ121 и резинокордной муфты электровоза ЭП1.

В результате анализа процесса автоколебаний в тяговом приводе локомотива в режиме боксования установлена возможность синхронизации автоколебаний

привода со второй – третьей гармоникой динамического момента, вызванного проездом неровностей пути и установлено, что напряжения в оси колесной пары при автоколебаниях могут быть снижены за счет рассеяния энергии при ударах в зубьях тяговой передачи и использования элементов привода в качестве антивибратора при субгармоническом возмущении. Предложено оценивать эффективность ударного виброгашения через условный параметр:

$$K_b = C_k \frac{J_b}{J_k + J_b} \quad (7)$$

где C_k – постоянная, зависящая от конструктивных параметров привода; J_b – момент инерции ведущей шестерни и входного вала с полумуфтой, приведенный к оси колесной пары; J_k – момент инерции колесного центра.

В четвертой главе предложен общий алгоритм создания классификаций тягового привода и на его базе – классификация тяговых приводов для поиска новых решений (рисунок 8).

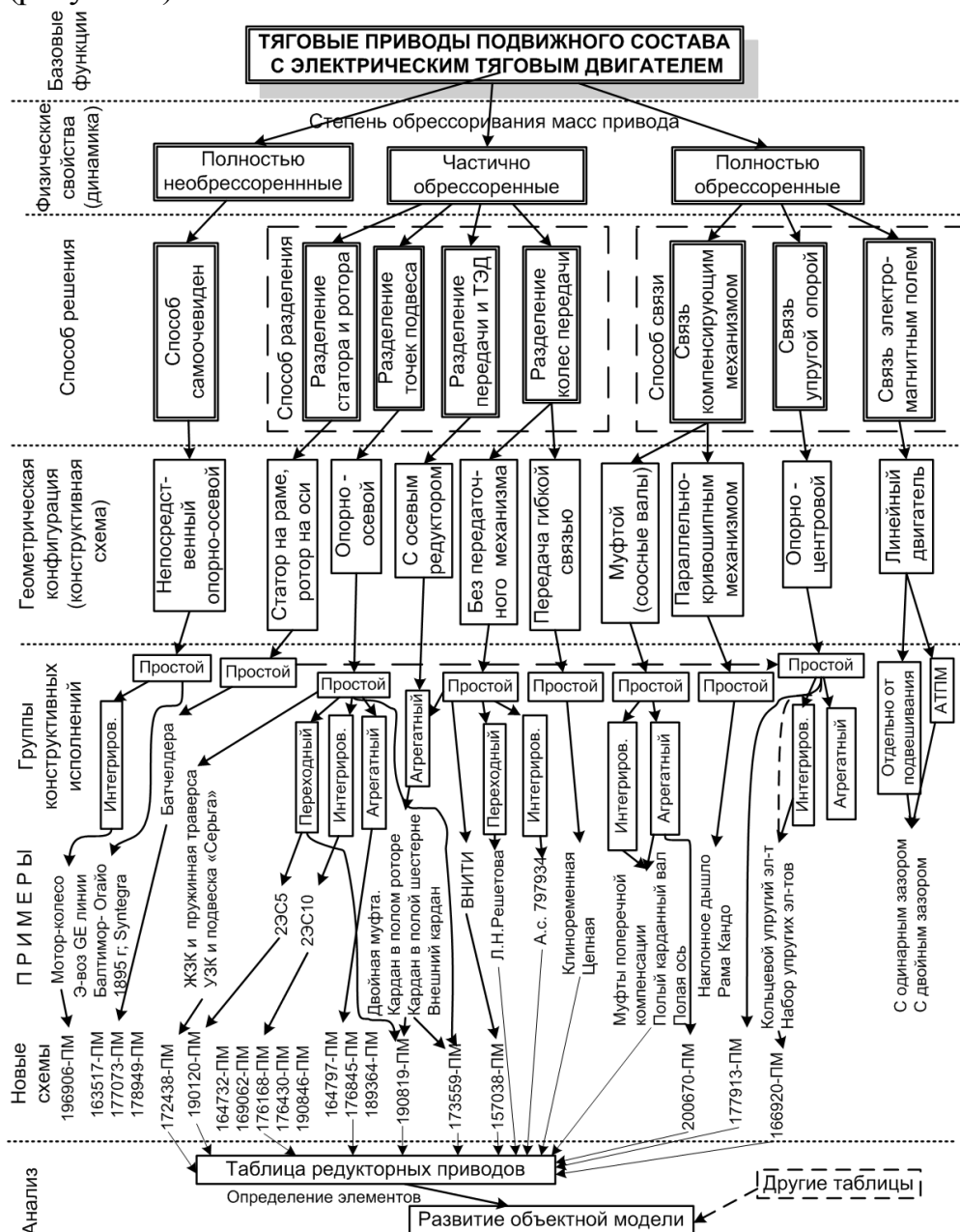


Рисунок 8 – Классификация-алгоритм синтеза конструктивных схем тяговых приводов

Классификация позволяет охватить все известные схемы и исполнения привода, однозначно определяет выбор решения на основе принятой конструктором

совокупности признаков, и делит процесс принятия решений на ряд последовательных шагов, интуитивно понятных конструктору (требования к динамическим качествам, принцип решения, конструктивные схемы и их исполнения). Предложено и учтено в классификации деление конструктивных схем тяговых приводов на простую, переходную, интегрированную и агрегатную, даны определения данных схем и признаков их различия. На основе данной классификации предложен и запатентован ряд новых конструкций тягового привода. Предложена классификация способов улучшения сцепных свойств путем изменения конструкции экипажной части (рисунок 9).

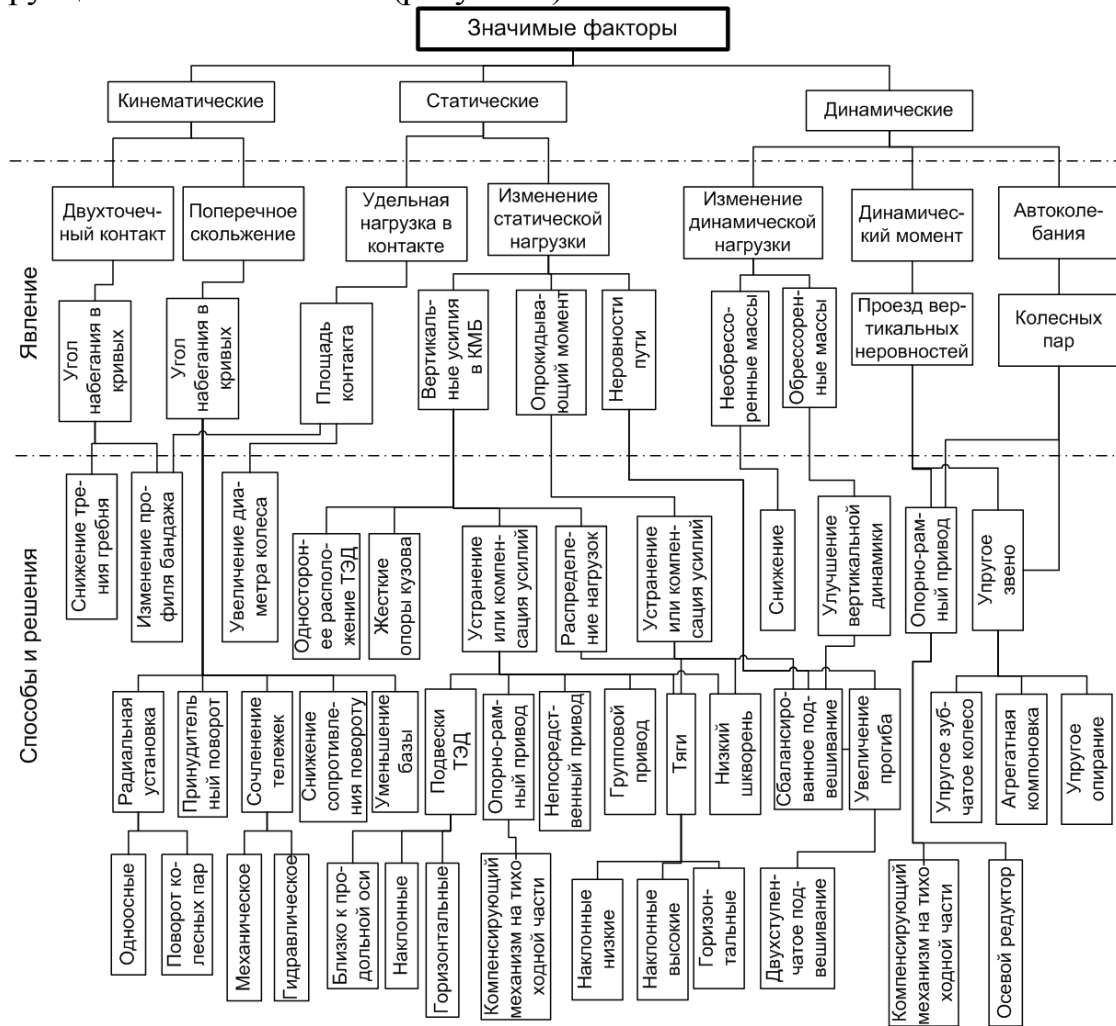


Рисунок 9 – Классификация способов улучшения сцепных свойств путем изменения конструкции экипажной части

На основании ее автором диссертации даны предложения по выбору параметров узлов экипажной части, обеспечивающие улучшение сцепных свойств локомотива, а также предложены и запатентованы новые конструкции узлов экипажной части, в частности, узлы подвески ТЭД, боковые опоры кузова на тележку, меняющие вертикальную жесткость в зависимости от силы тяги и скорости движения и фрикционный гаситель поперечных колебаний с безынерционным регулированием, позволяющий снизить сопротивление повороту тележки в кривых небольшого радиуса, что ведет к снижению угла набегания колеса на рельс и величины поперечного скольжения. Проведенный автором анализ дает основания ожидать, что предложенные им конструктивные мероприятия позволят реализовать на грузовых локомотивах с бесколлекторными ТЭД коэффициент тяги в расчетном режиме не менее 0,3...0,33. Предложена классификация компенсирующих муфт

механической части тягового привода железнодорожного локомотива, основанная на сетевой модели данных, и алгоритм поиска новых конструкций муфт на базе вышеуказанной классификации. На созданные с помощью данного алгоритма конструкции муфт получены патенты РФ на изобретение и на полезные модели. Предложена классификация подгруппы тяговых приводов низкопольного транспорта, учитывающая необходимость обеспечить свободное пространство между колесами. На предложенную конструкцию мотор-колеса получен патент на полезную модель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Предложены критерии выбора методологической базы для моделирования синтеза технических решений узлов экипажной части локомотива.

2 В качестве базовой модели-алгоритма поиска технических решений предложена универсальная последовательность творческих решений в виде матрицы уровней средств управления явлениями природы. Предложен метод проектирования алгоритмов решения изобретательских задач при поиске технических решений.

3 С применением предложенных моделей и алгоритмов решены следующие теоретико-прикладные проблемы динамики узлов экипажной части локомотива:

- решена проблема идентификации форм колебаний остова коллекторного тягового двигателя в опорно-осевом приводе тепловоза в сборе с колесной парой и тяговой передачей. Определены низшие формы колебаний, влияющие на нагруженность и надежность элементов магнитной системы тягового электродвигателя;

- выяснены причины консервативности динамических параметров механической системы тягового привода локомотива с осевым редуктором при воздействии возмущений от пути. Определена возможность применения метода базовой точки для оптимизации параметров механической части тягового привода, что сокращает время на проведение оптимизации. Для тягового привода локомотива с опорно-рамным подвешиванием ТЭД, осевым редуктором и упругими элементами компенсирующего механизма (торсионный вал и/или упругие муфты) предложено выполнять большое зубчатое колесо осевого редуктора жестким, для снижения напряжений в оси колесной пары при автоколебаниях во время боксования. Правильность рекомендации подтверждена эксплуатацией тепловозов 2ТЭ121 и электровозов ЭП1 и ДС3;

- установлены ограничения возможности использования результатов математического моделирования и полигонных испытаний для прогнозирования надежности узлов и деталей тягового привода локомотива. Экспериментально определены статистические параметры, определяющие нагруженность механической части тягового привода локомотива с осевым редуктором. Результаты исследования применены для проведения в АО «ВНИКТИ» полнокомплектных испытаний тягового привода тепловоза 2ТЭ121 и резинокордной муфты электровоза ЭП1;

- выявлена возможность синхронизации автоколебаний привода со второй – третьей гармоникой динамического момента в приводе, определены способы снижения напряжений в оси колесной пары при боксовании за счет ударного рассеяния энергии автоколебаний в тяговой передаче и использования элементов привода в качестве антивибратора.

4 Предложен общий алгоритм создания классификаций тягового привода, основанный на выявленной в процессе анализа связи между последовательностью этапов типологизации конструкций тягового привода и последовательностью синтеза технического решения.

5 Предложена объектная модель конструкции тягового привода, позволяющая автоматизировать поиск прототипов проектируемых конструкций, а также отнесение их к определенным классам. Использование объектной модели позволило предложить и запатентовать новую конструкцию подвески ТЭД.

6 Предложена классификация способов повышения тяговых свойств локомотива в зависимости от конструкции экипажной части, позволяющая находить рациональные решения узлов экипажной части и их параметров для улучшения сцепления колеса с рельсом в эксплуатационных условиях.

7 Предложена система поиска новых решений механической части тягового привода и узлов локомотива в виде классификаций и алгоритмов, позволившая создать и защитить патентами РФ на изобретения и полезные модели более 150 новых конструкций узлов экипажной части локомотива, что доказывает корректность предложенных методов поиска новых технических решений и эффективность их применения при проектировании тягового привода.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

а) Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, включенных в перечень, утвержденный ВАК:

1 **Измеров, О. В.** Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава / О. В. Измеров, Г. С. Михальченко // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 4(39). – С. 53-60. – EDN PURRIN.

2 **Измеров, О. В.** Выбор объектной модели тягового привода локомотива / В. И. Воробьев, О. В. Измеров, М. А. Маслов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. – № 6(59). – С. 69-75. – DOI 10.12737/article_59cd7506ab0e61.90627489. – EDN YAHGYR.

3 **Измеров, О. В.** Принцип системности при модернизации тягового привода электровозов с коллекторными электродвигателями / С. Н. Злобин, О. В. Измеров, О. В. Дорофеев, М. А. Маслов // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 4(59). – С. 71-79. – EDN YNJGOJ.

4 **Измеров, О. В.** Поиск новых конструктивных схем редукторного и безредукторного тягового привода локомотива с частичным обрессориванием масс / В. И. Воробьев, А. Г. Стриженко, О. В. Измеров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 1(49). – С. 16-21. – EDN WBKUGF.

5 **Измеров, О. В.** Анализ и разработка конструктивных решений экипажной части для повышения тяговых свойств локомотивов / А. А. Пугачев, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, Е. В. Николаев // Транспортное машиностроение. – 2023. – № 6(18). – С. 52-62. – DOI 10.30987/2782-5957-2023-6-52-62. – EDN VOIGZK.

б) в изданиях, входящих в международную систему цитирования Scopus:

1 **Izmerov, O. V.** Influence of locomotive traction drive design on main forms of self-oscillations during spinning / D. Y. Antipin, O. V. Izmerov, S. O. Kopyilov // Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering - Mechanical Engineering, Saint-Petersburg, 23–24 марта 2017 года. Vol. 87, 8. – Saint-Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2017. – P. 082005. – DOI 10.1088/1755-1315/87/8/082005. – EDN XOPEOG.

2 **Izmerov, O. V.** Friction self-oscillation decrease in nonlinear system of locomotive traction drive / D. Y. Antipin, V. I. Vorobiyov, O. V. Izmerov [et al.] // IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering, Tomsk, 27–29 октября 2016 года. Vol. 177. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2017. – P. 012137. – DOI 10.1088/1757-899X/177/1/012137. – EDN YVIDYT.

в) зарегистрированные объекты интеллектуальной собственности:

1 Патент № 2527254 С2 Российская Федерация, МПК F16D 3/78. Компенсационная муфта тягового привода локомотива: № 2012154982/11: заявл. 19.12.2012: опубл. 27.08.2014 / Н. М. Луков, О. Н. Ромашкова, **О. В. Измеров** [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет путей сообщения" (МГУПС (МИИТ)). – EDN ZLVAJF.

2 Патент № 2529066 С2 Российская Федерация, МПК B61F 5/06, B61G 11/14, F16F 11/00. фрикционный гаситель колебаний: № 2012154980/11: заявл. 19.12.2012 : опубл. 27.09.2014 / Н. М. Луков, О. Н. Ромашкова, **О. В. Измеров** [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет путей сообщения" (МГУПС (МИИТ)). – EDN HBOVWT.

3 Патент № 2529305 С2 Российская Федерация, МПК B61F 5/14, B61F 5/24. боковая опора кузова на тележку: № 2012154977/11 : заявл. 19.12.2012: опубл. 27.09.2014 / Н. М. Луков, О. Н. Ромашкова, **О. В. Измеров** [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет путей сообщения" (МГУПС (МИИТ)). – EDN FSPEPH.

4 Патент № 2437786 С2 Российская Федерация, МПК B61C 9/40, B61C 9/44, F16D 3/60. Компенсационная муфта тягового привода локомотива: № 2009147492/11: заявл. 21.12.2009: опубл. 27.12.2011 / Г. С. Михальченко, **О. В. Измеров**, В. И. Воробьев [и др.]; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Брянский государственный технический университет". – EDN HRYLYS.

г) в других изданиях:

1 **Измеров, О. В.** Поиск рациональной экипажной части тепловоза с повышенной нагрузкой на ось / Д. Я. Антипин, О. В. Измеров, Д. Г. Надточей // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 4. – С. 9-11. – EDN YURPJZ.

2 **Измеров, О. В.** Выявление уинформации для планирования инженерного анализа использования магнитного поля при трении металлических тел: статья / О. В. Измеров, В. С. Авдащенко, С. Г. Волохов. – Текст : непосредственный // Совершенствование энергетических машин, сб. научн. тр. под ред. В.В. Рогалева. – Брянск: БГТУ, 2013. – С. 180-189.

3 **Измеров, О. В.** Техническая инновационика. Классификации в технике / А. С. Космодамианский, В. И. Воробьев, О. В. Измеров [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. – Орёл : ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023. – 186 с. – ISBN 978-5-9929-1305-7. – EDN KZAVWH.

4 **Измеров, О. В.** Техническая инновационика. Применение физико-технических эффектов при конструировании транспортных машин / В. И. Воробьев, С. Н. Злобин, О. В. Измеров [и др.]. – Орёл : ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023. – 208 с. – ISBN 978-5-9929-1423-8. – EDN CVJXCA

Измеров Олег Васильевич

**СИНТЕЗ УЗЛОВ ЭКИПАЖНОЙ ЧАСТИ ЛОКОМОТИВА
МЕТОДАМИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ИННОВАЦИОНИКИ**

2.9.3. Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 05.11.2024 г. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Офсетная печать. Печ. л. 1,0. Усл. изд. л. 1,0.
Тираж____ экз. Заказ____. Бесплатно.

Издательство Брянского государственного технического университета
241035, г. Брянск, бульвар 50лет Октября, 7.
Подразделение оперативной полиграфии БГТУ, ул. Харьковская, 9