

На правах рукописи



Шевченко Дмитрий Николаевич

**РАЗРАБОТКА ОБОСНОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УЗЛОВ
КОЛЕСНО-МОТОРНОГО БЛОКА ЛОКОМОТИВА**

2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

**Научный
руководитель:**

кандидат технических наук, доцент
Воробьев Владимир Иванович

**Официальные
оппоненты:**

Буйносков Александр Петрович,
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный университет путей
сообщения», кафедра «Электрическая тяга»,
профессор;

Губарев Павел Валентинович,
кандидат технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ростовский государственный университет путей
сообщения» кафедра «Тяговый подвижной состав»,
доцент

Ведущая организация:

Акционерное общество «Научно-исследовательский
институт железнодорожного транспорта»

Защита состоится « 29 » февраля 2024 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 40.2.002.07 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.rut-miit.ru

Автореферат разослан « ___ » января 2024 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Воронин Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Решение таких задач, как создание локомотивов для тяги поездов массой 7100 тонн и модернизация экипажной части существующих локомотивов для повышения их работоспособности, требует разработки новых методов синтеза конструкций тягового привода.

Актуальность работы установлена путем анализа существующих конструкций узлов колесно-моторных блоков (КМБ), разработкой методов поиска новых патентоспособных конструктивных решений для подвески, обеспечивающих надежную работу КМБ.

Анализ режимов работы КМБ различных типов локомотивов, выявил ряд конструкционных недостатков привода, которые проявили себя при работе тягового подвижного состава на действующих линиях. Рассмотрен ряд типовых подвесок узлов КМБ, такие как маятниковая, траверсная и типа «Серьга».

При использовании маятниковой подвески создается неравномерная нагрузка, приводящая к перекосам при передаче силы тяги и неравномерному распределению нагрузки, ограничивает возможность увеличения частоты вращения вала и мощности тяговых электродвигателей (ТЭД), что не позволяет повысить производительность локомотива.

Наличие трущихся и изнашиваемых частей в узле траверсного подвешивания ТЭД приводит к снижению работоспособности в процессе эксплуатации и требует восстановления или замены, что увеличивает стоимость ремонта, а при замыкании витков пружин возможны удары, которые могут привести к повреждению ТЭД или рамы тележки.

Применение в узле подвешивания ТЭД к раме тележки конструкции типа «Серьга», содержащей, резиновые и стальные шайбы, втулку, запрессованную в головку подвески, и цилиндрический валик, применяемой на электровозах отечественных железных дорог, выражаются в недостатках, к которым относятся износ втулки и валика при поперечном перемещении ТЭД относительно рамы тележки, трудоемкость монтажа подвески из-за необходимости стягивания гайкой резиновых шайб, ограничивает возможность поворота наружных втулок относительно внутренних, что приводит к сдвигу резинового слоя.

В процессе анализа работы тягового привода локомотива, наибольшие трудности вызывает исследование и оценка свойств динамической системы привода,

что вызвано высокой статической и динамической нагруженностью элементов привода. Выбор их размеров и самой конструкции зависит от достаточно большого числа факторов, определяющих эту нагруженность. Автоматизация экспериментальных исследований динамики тягового привода в настоящее время сводится в основном к внедрению цифровых технологий регистрации и обработки данных и автоматизации управления экспериментом, а также развития предварительного и сопровождающего цифрового моделирования, что оправдано для крупных исследовательских центров. В то же время для различных экспресс-исследований, проводимых в порядке заводских испытаний, а также университетами и небольшими инжиниринговыми фирмами, существует потребность в автоматизации экспертных оценок, для оперативного получения предварительных результатов.

Степень разработанности темы исследования. Проанализированы научные работы ученых, внесших большой вклад в развитие методов проектирования тяговых приводов локомотивов: А.И. Беяева, И.В. Бирюкова, Л.К. Добрынина, А.С. Евстратова, А.А. Камаева, В.С. Коссова, В.В. Кочергина, 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, Д. Диксона, Р. Коллера, П.И. Орлова, А.И. Половинкина, К. Рота, Г. Шенка. На основании проведенного анализа, посвященных методам проектирования тягового привода локомотива, рассмотрена возможность определения двух основных критериев для выбора общей методологической базы для обоснованных конструктивных решений механической части КМБ. Среди известных на данный момент направлений теории конструирования машин:

- общая методологическая база должна быть основана на результатах анализа процессов проектной и исследовательской работы;
- технические решения должны быть представлены в виде информационной системы, основой которой являются массивы информации и классификации узлов.

Возможность использовать в качестве общей методологической основы для анализа и теоретического обобщения знаний о методах создания новой техники и, в частности, тягового привода, присуще теоретическому направлению, известному под названием технической инновационики.

Применительно к области техники Г. Бетс, Б. Брайндли и С. Уильямс определяют инновацию как «любой новый подход к конструированию, производству

или сбыту товара, в результате чего инноватор и его компания получают преимущества перед конкурентами».

Основной целью технической инновационики считается создание методов, обеспечивающих исследование, проектирование и освоение технических объектов производством при отсутствии опыта, полученного для аналогичных объектов. К основным методам технической инновационики относится анализ с точки зрения информационных технологий, что предполагает следующие методологические процедуры:

- алгоритмизация процессов инженерной деятельности, определение характерных алгоритмов действия применительно к определенному кругу задач.
- систематизация информации, требуемой для создания новых технических объектов, то есть, научная классификация и каталогизация разнообразных данных.

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка методов синтеза для создания новых патентоспособных технических решений узлов подвешивания механической части тягового привода.

В соответствии с поставленной целью в работе необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ методов конструирования механической части тягового привода с целью создания новых конструкций тягового привода и его узлов;
- разработать классификацию для узлов подвешивания тягового привода;
- разработать рекомендации по вопросам проектирования и инженерного анализа механической системы тягового привода;
- разработать метод поиска рациональных параметров динамической системы тягового привода;
- применить метод конечных элементов для исследования сферических двуслойных резинометаллических шарниров (РМШ) подвески ТЭД локомотива;
- провести проверку метода объектной модели путем проектирования новых технических решений для узлов КМБ.

Объектом исследования являются узлы механической части тягового привода локомотива.

Предметом исследования являются методы проектирования отдельных узлов КМБ.

Научная новизна:

1 предложена классификация динамических воздействий на тяговый привод

локомотива;

2 предложена классификация подвесок КМБ с алгоритмом поиска новых технических решений ориентированная на задачи системы автоматизированного проектирования (САПР);

3 предложена объектная модель технических решений конструкции тягового привода и его узлов, позволяющая автоматизировать сравнение конструкций;

4 предложена методика учета влияния предварительного сжатия упругого слоя при анализе условий работы РМШ;

5 предложена параметризованная геометрическая модель сферического двуслойного РМШ и конечно-элементная модель упругой втулки;

6 предложен ряд патентоспособных конструкций подвески КМБ.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Доказана возможность создания общих моделей тяговых приводов и их узлов и алгоритмов поиска новых патентоспособных технических решений тягового привода, не зависящих от конструктивной схемы привода.

Для тягового привода разработаны и запатентованы узлы подвески КМБ при разных типах подвешивания, а также конструкция двуслойного РМШ.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач использованы методы алгоритмизации процессов проектирования, инженерного анализа и изобретательской деятельности, метод математического моделирования механических систем.

Положения, выносимые на защиту:

- методы синтеза новых технических решений механической части тягового привода;

- методы типологизации механической части тяговых приводов локомотивов и классификация - алгоритм синтеза конструкций тяговых приводов;

- методика определения параметризованной модели сферического двуслойного РМШ и конечно-элементная модель упругой втулки;

- классификация подвесок КМБ и алгоритм решений для патентоспособных конструкций узлов в системе САПР.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается стендовыми испытаниями, представленными в отчетах Всесоюзного научно-исследовательского тепловозного института (ВНИТИ) и подтверждается получением патентов на конструкции, созданных с помощью предложенной

методологии и процедур.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Тяговый подвижной состав» РОАТ РУТ (МИИТ) 2019-2023 г.г.; на международной интернет конференции «Современные проблемы железнодорожного транспорта» в 2020 году; на Национальной научно-практической конференции «Цифровые технологии транспорта», посвященной 125-летию РУТ (МИИТ), на IX международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» г. Орел.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Работа содержит 145 страниц основного текста, включая 45 рисунков и 10 таблиц. Список литературы содержит 119 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе на основе анализа проведенных испытаний, составлена классификация динамических факторов, действующих на элементы КМБ, представленная в виде сетевой модели (рисунок 1), и содержащая три уровня – физические явления, вызывающие динамические нагрузки, виды конкретных проявлений этих физических явлений и группы деталей и узлов, подвергающихся динамическим нагрузкам.

На основании составленной классификации и общей физической основы процессов повреждаемости привода, разработан алгоритм анализа результатов исследований динамики тягового привода.

Алгоритм основан на последовательной проверке гипотез соответствия характера записанного процесса формальным критериям (Рисунок 2).

Результат автоматизированного анализа представляется исследователю в виде гипотезы о возможном характере процесса, ввиду постоянного изменения характера внешних воздействий, а достоверность и полнота выводов, определяется точностью и адекватностью логической модели, принятой для описания динамических процессов в тяговом приводе.

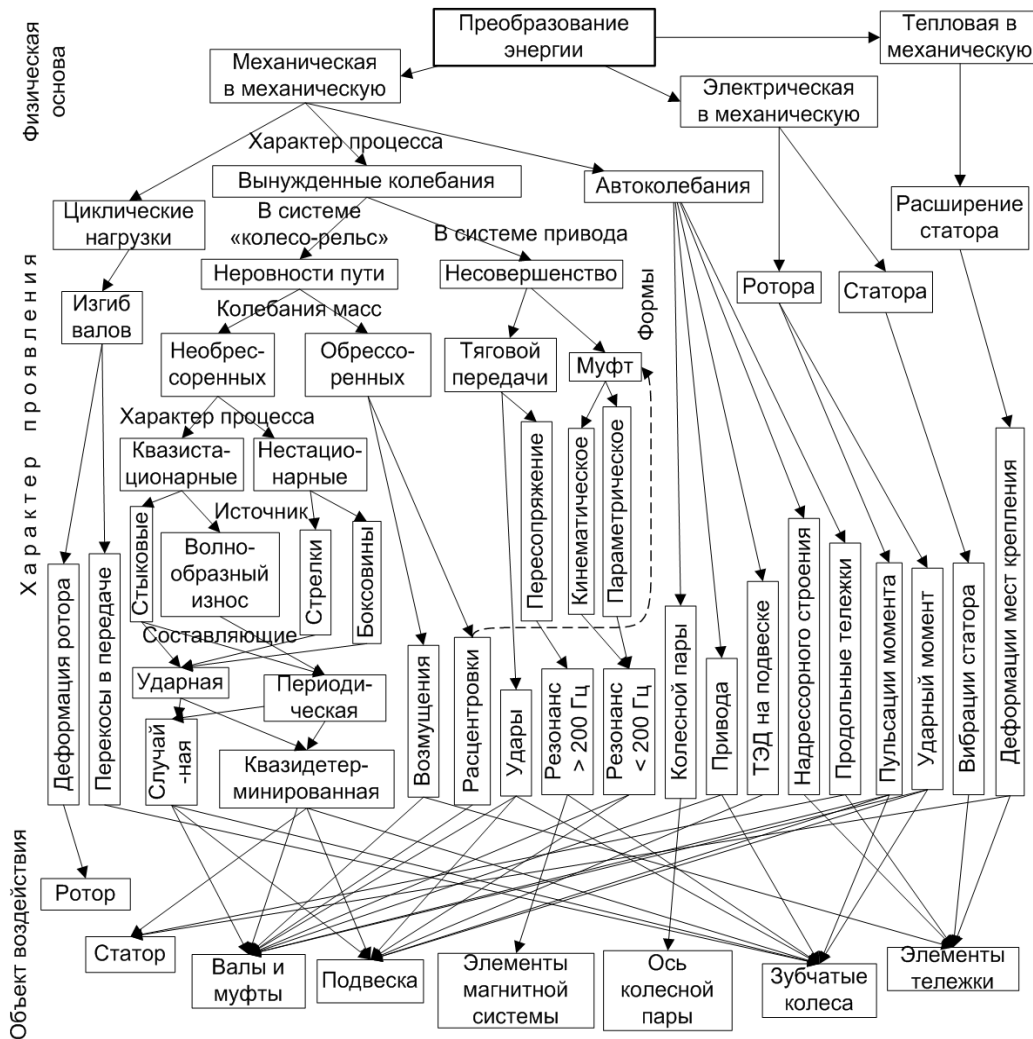


Рисунок 1 – Классификация динамических воздействий на тяговый привод

Во второй главе проведен анализ особенности конструкций существующих подвесок тяговых приводов и их характерные конструкционные недостатки, проявивших себя при работе локомотивов.

Исходя из общей классификации тяговых приводов, в которой выделяется три основных варианта связи ТЭД с другими элементами тележки предлагается классификация связей ТЭД с рамой тележки основанная на базе сетевой модели данных (Рисунок 3).

При этом важной особенностью подвески, как технического объекта, является изменение ее базовых функций при изменении конструктивной схемы привода. В качестве совокупности объектов, соответствующих понятию «подвеска», приняты устройства, с общей функцией передачи на раму тележки веса узлов и реакций, возникающих в узлах тягового привода, при реализации сил тяги или торможения.

Данное определение абстрагировано от конкретного устройства узлов, для которых применена подвеска.

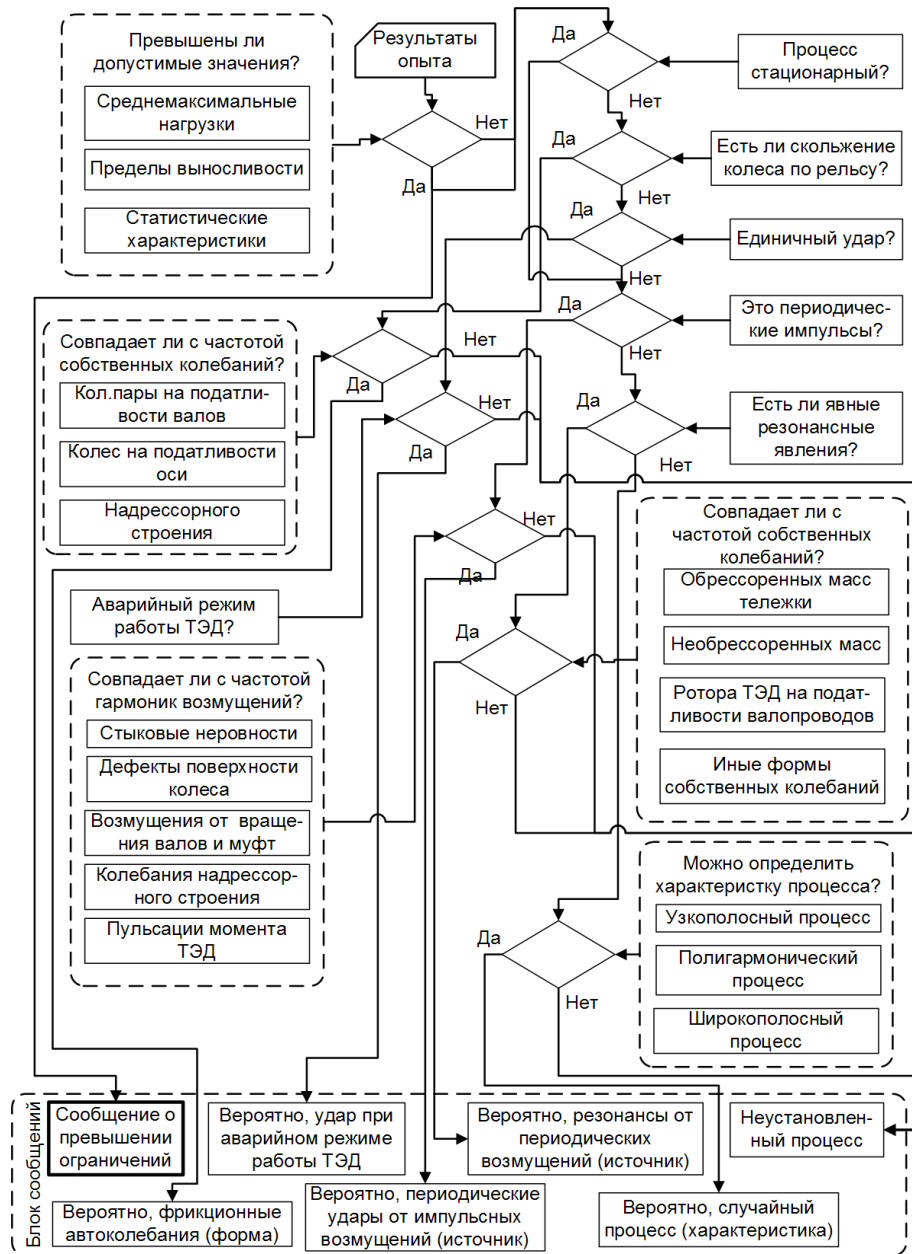


Рисунок 2 – Вариант создания гипотез о характере процессов для крутящего момента в тяговом приводе при опорно-рамном подвешивании ТЭД с осевым редуктором

Оно включает в себя объекты, относимые к подвескам ТЭД, подвескам осевых редукторов и узлам крепления ТЭД к раме тележки при опорно-рамном приводе.

К признакам первого уровня, имеющим наибольшее практическое значение, относятся другие базовые функции подвески, помимо передачи сил.

В первую очередь это признак подвижности подвешиваемого объекта относительно рамы тележки, по которому подвески делятся на компенсирующие перемещение подвешиваемого объекта и обеспечивающие его позиционирование.

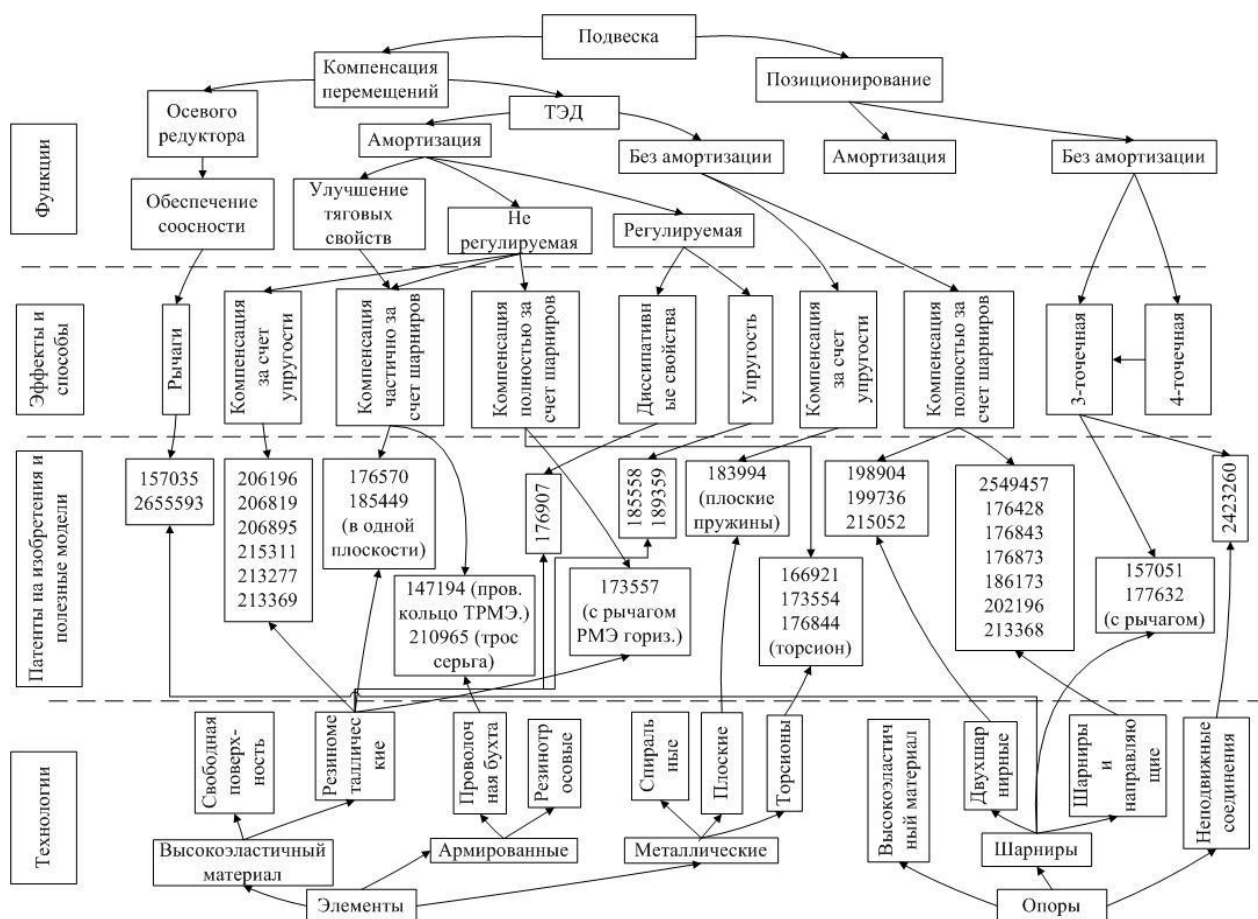


Рисунок 3 – Расширенная классификация узлов крепления ТЭД локомотивов

В качестве признаков дальнейшей классификации были приняты функции, реализуемые в каждом из выделенных классов, которые, в свою очередь, можно разделить на нерегулируемые и регулируемые, улучшение тяговых свойств, а также специфические функции.

Следующий уровень классификации образован на основе разделения конструкций по эффектам, использованным для реализации функций и способам использования эффектов.

Классификации технологических исполнений построены для двух групп устройств, которые определены как упругие элементы и опоры. При этом упругие элементы делятся по технологическим особенностям их изготовления на изготовленные из высокоэластичного материала, армированные элементы и металлические элементы, далее – по особенностям их изготовления, а опоры – на детали из высокоэластичного материала, шарниры и соединения.

Поиск новых технических решений проводится путем выбора новых комбинаций между вариантами способов реализации функций подвесок и вариантами технологического исполнения, исходя из технической задачи, которую должна решить новая конструкция подвески.

Классификация позволяет охватить все известные схемы и исполнения привода, не имея ограничений на включение любых новых, 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), что, в свою очередь, создает необходимые предпосылки для разработки строгих алгоритмов принятия решения.

В третьей главе установлено, что для сферических РМШ в настоящее время известна методика расчета только для однослойных РМШ с $\alpha = \pi/4$, обладающая достаточной сходимостью с результатами эксперимента при продольном разъеме шарнира, что недостаточно для создания новых конструкций этого узла, в частности, двухслойных с промежуточной арматурой, имеющих более высокую нагрузочную способность по сравнению с однослойными.

Расчетное усилия в подвеске с учетом веса ТЭД упрощенно определяется с помощью выражения:

$$F_{\text{п}} = \left(P_{\text{д}} + \frac{M}{r_1} \right) \frac{b}{c}, \quad (1)$$

где $P_{\text{д}}$ – вес ТЭД;

M – расчетный максимальный момент;

r_1 – радиус малой шестерни по делительной окружности;

b – централь зубчатой передачи;

c – расстояние от оси ТЭД

При этом делается допущение, что ось ТЭД находится на уровне оси колесной пары.

Для электровоза 2ЭС6 $P_{\text{д}} = 45,1$ кН, $r_1 = 0,138$ м; $b = 0,618$ м, $c = 1,26$ м. В качестве расчетного максимального прием максимальный момент при боксовании в момент трогания с места, который, для разных локомотивов и форм колебаний, можно приблизительно принять равным двукратному тяговому моменту при трогании с места, т.е. для 2ЭС6 $M = 34,2$ кНм. Отсюда получается $F_{\text{п}} = 144$ кН.

Отсюда можно сделать вывод, что унифицированный шарнир подвески ТЭД должен рассчитываться на восприятие кратковременной нагрузки не ниже 150 кН, при величине относительной деформации не более 0,15 с учетом разброса технологических характеристик и изменения жесткости в условиях эксплуатации.

Сравним радиальные жесткости различных сферических РМШ выпускаемых в

настоящее время (Таблица 1).

Таблица 1 – Радиальные жесткости различных сферических РМШ

Параметр	2ЭС6	HS4000	13-1180 Trelleborg	13-4007 Trelleborg	SPH- SB2140-68 GMT
Дш, мм	120	129	127	127	127
Ширина, мм	90	102	102	102	105
Жесткость, кН/мм	92	50	87	260	88
Допустимая нагрузка, кН			93	220	111
Деформация при 150 кН	0,163	0,25			
Допустимый перекося, град.			7	6	10
Угловая жесткость, кНм/рад			6,2	13	6,8

Как видно из таблицы 1, сферические РМШ диаметром 120-130 мм и радиальной жесткостью порядка 90 кН/мм не обеспечивают достаточной нагрузочной способности, как отечественные, так и зарубежных производителей. Вместе с тем данные таблицы показывают принципиальную возможность значительного повышения нагрузочной способности РМШ. Рассмотрим возможные пути реализации этого в существующих условиях.

Увеличение размеров шарнира. В подвеске осевого редуктора отечественных тепловозов с трехосной тележкой и диаметром колеса 1250 мм использованы РМШ диаметром 140 мм при расстоянии между осями шарниров 640 мм, что меньше, чем для 2ЭС6 (680 и 1000 мм). При этом продольные динамические усилия при проезде неровностей пути достигали 28...34 кН, а суммарные кратковременно действующие в режиме боксования – 165 кН, что выше, чем прогнозируемые для подвески ТЭД.

В этих эксплуатационных условиях удовлетворительно работали даже цилиндрические РМШ, изготавливаемые методом запрессовки, несмотря на значительные поперечные перемещения средней колесной пары – до 25...30 мм на сторону, но имеется недостаток, заключающийся в абразивном износе резиновой втулки по краям, в связи с чем, не позволяющее реализовать дальнейшее повышение срока службы РМШ.

Повышение твердости высокоэластичного материала. В настоящее время резина для РМШ согласно КД должна иметь твердость 70...80 ед. по Шору, в то время как ранее для резиноталлических деталей экипажной части (шарниры буксовых поводков, опоры) чаще всего использовались резины с твердостью 50...60 ед. Таким

образом, твердость резины поводка уже соответствует предельным значениям и ее дальнейшее повышение нецелесообразно из-за роста угловой жесткости, и, соответственно, усилия отрыва резины от металла в зонах вулканизации.

Уменьшение толщины резинового слоя. Для прогнозируемых поперечных перемещений ТЭД электровоза 2ЭС6 (15 мм на сторону) и вертикальных перемещений буксовой ступени с амплитудой в 30 мм, суммарный сдвиг наружной обоймы шарнира относительно внутренней составит около 2 мм. Исходя из допустимой относительной деформации сдвига 0,25...0,3, получаем минимальное значение толщины резинового слоя, равное 6...8 мм. Это позволяет существенно увеличить радиальную жесткость шарнира, однако при этом теряется возможность унификации РМШ. Кроме того, при нештатных режимах (например, сход колесной пары при маневрах на станционных путях) может произойти повреждение резинового слоя из-за чрезмерных деформаций.

На основании изложенного можно сделать вывод, что конструкция сферического РМШ с осевым разъемом не реализует параметры, позволяющие создать унифицированный РМШ подвески для выпускаемых локомотивов.

Кроме того, серьезным недостатком существующих сферических РМШ применительно к узлу подвески ТЭД является большой угол раскрытия резинового слоя α , определяемый по вертикальной оси симметрии шарнира и прямой, проходящей через центр шарнира и торец внутренней поверхности резинового кольца. У известных сферических РМШ с внешним диаметром 120...130 мм угол α приблизительно равен 45 градусов, в связи с чем диаметр отверстия во внутренней втулке приходится уменьшать до 45...50 мм, что нежелательно с точки зрения прочности.

Техническое решение РМШ надо искать в виде конструкции, ранее не применявшейся. Для этого предложено использовать в качестве универсального инструмента расчета метод конечных элементов (МКЭ).

В качестве моделируемого объекта принят сферический РМШ, соответствующий примененному в подвеске ТЭД электровоза 2ЭС6 и тепловоза ТЭ25А и двухслойный двухсегментный сферический РМШ, плоскость разъема которого расположена перпендикулярно оси поводка, с теми же параметрами и толщиной промежуточной арматуры 1 мм. Исходя из положения, что при проектировании шарнира его форма до сборки, для достижения наивысшей нагрузочной способности, должна обеспечить смыкание выемок резинового

элемента по краям полуколец, РМШ рассматривался, как совокупность полных металлических и резиновых колец, жестко соединенных между собой. При моделировании шарнира использовался модуль Advanced Simulation комплекса Siemens PLM NX. При построении геометрии в главном эскизе (рисунок 4) был заранее предусмотрен средний слой, который в зависимости от назначенного элементу материала может моделировать как резиновую втулку, так и промежуточную арматуру.

Для металлических элементов принят материал Сталь с параметрами: Модуль упругости $E = 210000$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

Результат предварительного расчета показал, что относительные перемещения в узлах металлических частей и возникающие в них усилия ничтожно малы, что обусловлено тем, что жесткость металла на несколько порядков больше чем у резины, что позволило ввести допущение, что все деформации обусловлены работой резинового слоя и упростить расчетную схему оставив только элементы, моделирующие резиновую втулку, для уменьшения числа степеней свободы и повышения скорости расчета, а также позволит при необходимости уменьшить шаг конечно-элементной сетки без значительного увеличения объема вычислений.

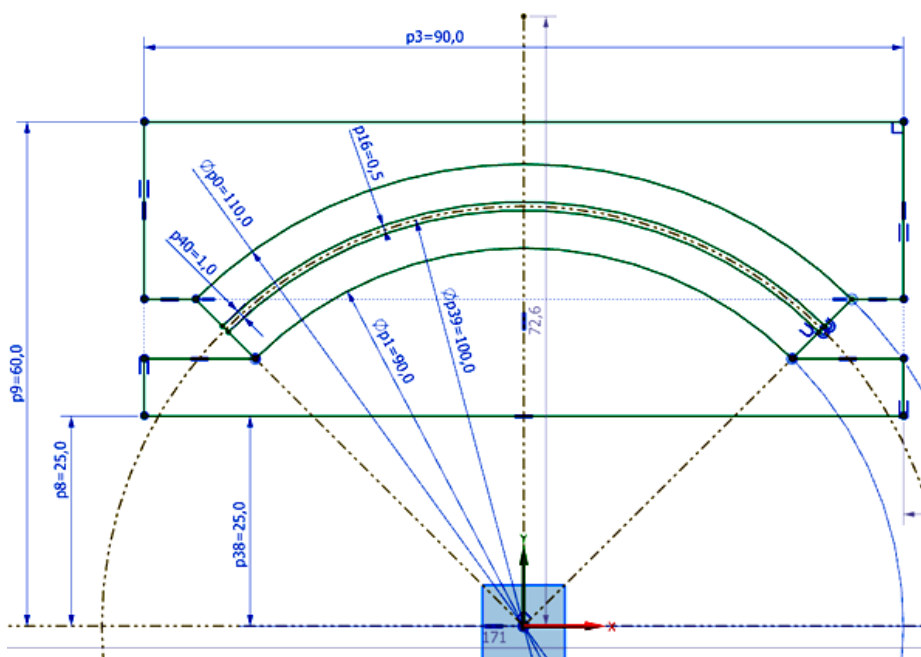


Рисунок 4 – Главный эскиз для построения геометрической модели шарнира

Поскольку результаты расчетов при данном упрощении оказались практически идентичны результатам для описанной выше модели, для дальнейших исследований использовалась схема, моделирующая только резиновый слой (рисунок 5, а, б).

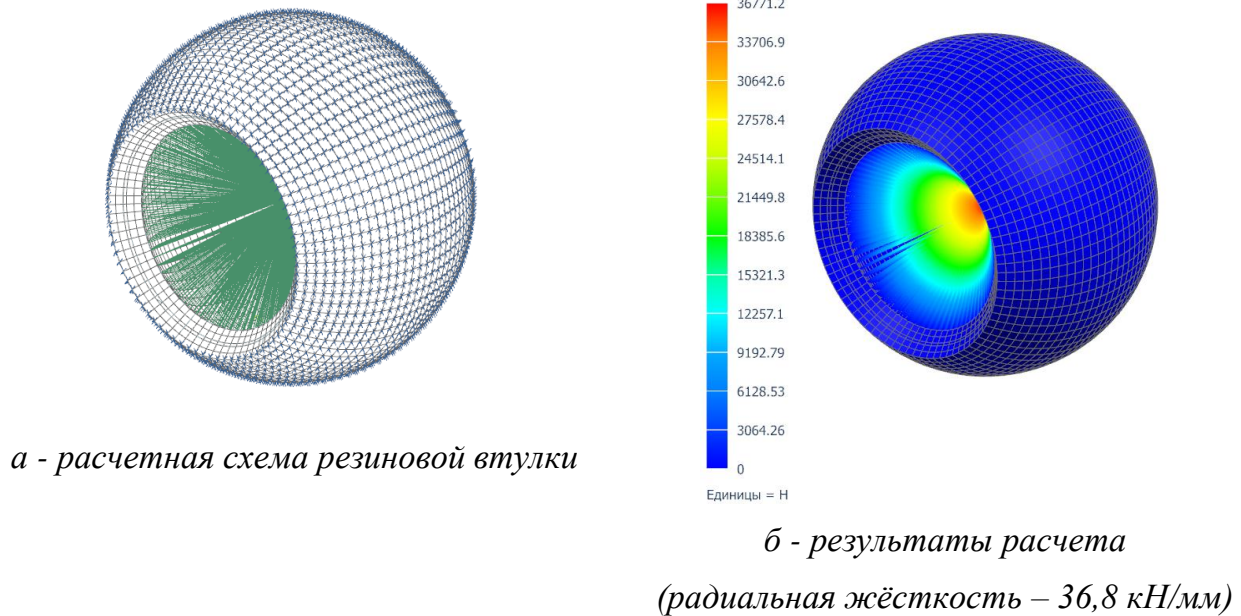


Рисунок 5 – Схема, моделирующая резиновый слой

Для упрощения решения задачи по получению формы свободной поверхности создано два сегмента упругой втулки, представляющие собой половину ее полукольца.

На границе разреза по плоскости симметрии накладываются симметричные связи.

Модель двухслойного шарнира создается на базе модели однослойной путем увеличения жесткости среднего слоя элемента до значений жесткости стали.

Для моделирования резинового слоя принят материал, имеющий параметры твердости по Шору – 60 ед., статический модуль упругости $E = 2,7$ МПа, $\mu = 0,499999$.

Получившаяся в результате расчета деформированная поверхность будет рациональна для достижения условия получения равной свободной поверхности при смыкании полуколец при сборке шарнира.

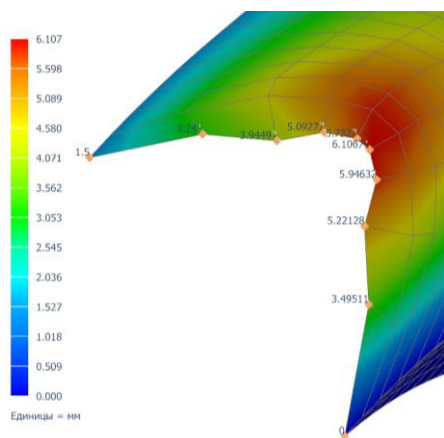


Рисунок 6 – Перемещения узлов свободной поверхности втулки в вертикальном направлении

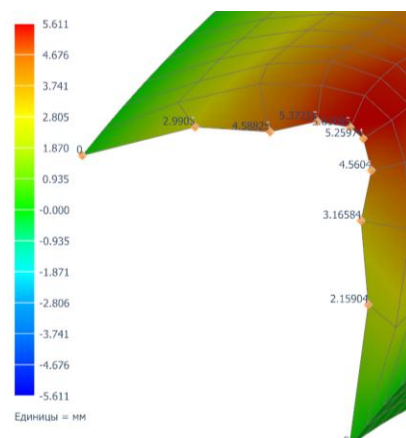


Рисунок 7 – Перемещения узлов свободной поверхности втулки в горизонтальном направлении

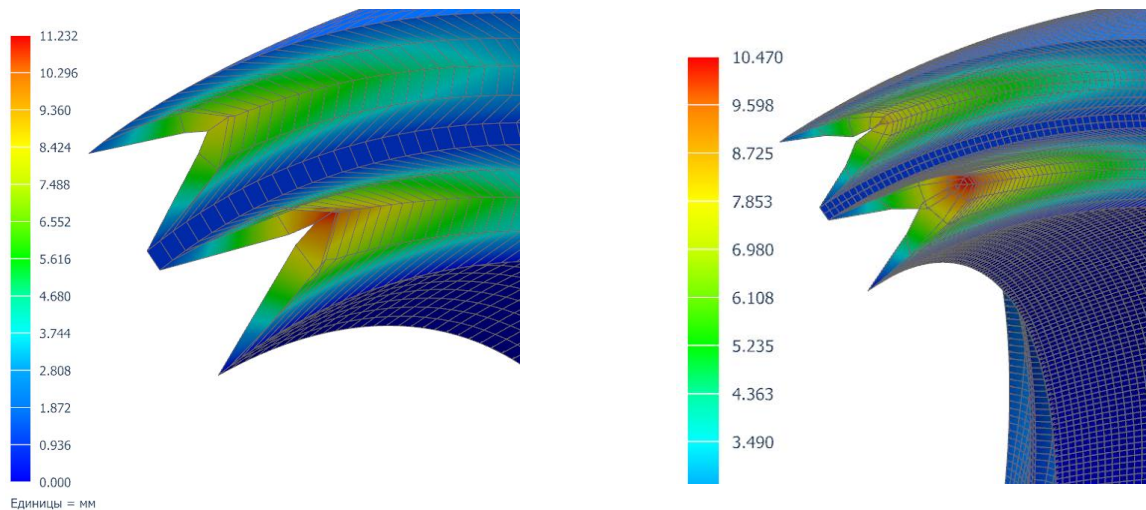


Рисунок 8 – Перемещения узлов свободной поверхности резинового элемента двухслойного шарнира при разной величине конечных элементов (справа - 0,5 мм)

Как видно из рис. 6 - 8, для двухслойного шарнира характерна меньшая глубина требуемой выемки, однако при этом значительно уменьшаются радиусы при вершине выемки. Это обусловлено снижением возможности перемещения резины в двухслойном шарнире по сравнению с однослойным, что ведет к возможности образования локальных зон растяжения на середине свободной поверхности после сборки шарнира. Возможно, по этой причине потребуется снижение максимальных радиальных деформаций резинового слоя при работе.

Установлено, что при проектировании двухслойных РМШ одной из основных проблем является обеспечение технологических возможностей выполнить в литейной оснастке форму свободной поверхности резинового слоя, близкую к рациональной. Предложена конструкция двухслойного сферического РМШ с разъемом, упрощающая технологию изготовления, на которую получен патент на полезную модель **RU 202196, 05.02.2021**.

В четвертой главе проведен анализ работ в области методологии проектирования, определены основные критерии выбора базы для создания технических решений механической части тягового привода локомотива. Рассмотрены процедуры, которые могут быть использованы для синтеза патентоспособных технических решений. Предложены универсальная последовательность поиска технических решений в виде матрицы и алгоритмы решения изобретательских задач для поиска технических решений.

Объектные модели технических решений рассматривались рядом авторов, в которых предложена концепция, согласно которой произвольное техническое решение можно формально представить пятеркой:

$$C = (\varphi, R, A^{(s)}, A^{(Rs)}, A^{(sR)}), \quad (2)$$

где множество $\varphi = \{S_1, \dots, S_p\}$ – состав системы, где S_1, \dots, S_p – внутренние элементы C , множество $R = \{R_1, \dots, R_q\}$ – окружающая среда (надсистема), а R_1, \dots, R_q – внешние элементы C , множество $A^{(s)}$ – все n -арные соотношения на элементах (внутренняя структура системы C), а множества $A^{(sR)}$ и $A^{(Rs)}$ – все n -арные соотношения между элементами множеств φ и R (структура связи взаимодействия систем со средой). Модель технического решения (например, тягового привода) является системой из множеств описаний реальных объектов множества. Таким образом, можно создавать математические модели конструкции, представляющие собой наборы связанных друг с другом элементов, входящих в библиотеки известных решений

Основной недостаток данного метода состоит в том, что совершенствование прототипа ведется путем эмпирического анализа тенденций развития, которые не всегда могут отражать развитие потребностей в данном техническом решении, развитие возможностей технологии производства, а также противоречий требований к узлу или детали. Еще одним недостатком является то, что эволюция технических решений рассматривается, как некий независимый от конструктора процесс, подчиненный эмпирически исследуемым закономерностям. Такой подход может привести к абсолютизации эмпирических трендов в изменении конструкции, принимаемых за некую объективную неизбежность, и, как результат, к ошибочным решениям.

В общем случае объектная модель тягового привода локомотива состоит из двух частей. Первая включает в себя иерархию множеств описаний тягового привода для разной степени его схематизации, а вторая - библиотеку в виде множества описаний типовых объектов, представленных в форме иерархической структуры функционального взаимодействия между элементами (И-графа). На уровне определения функциональных элементов привода осуществляется поиск подобных объектов в библиотеке с помощью матриц мер сходства. После определения близких прототипов производится поиск в библиотеке данных о прототипах, для выяснения недостатков последних, после чего производится поиск решения без недостатков и проектирование элементов конструкции на базе нового решения. Соответственно, при классификации нового технического решения значения критериев сходства с прототипами, относящимися к той или иной группе, дают предварительное основание для отнесения нового решения к той или иной группе.

Предложена обобщенная объектная модель конструкции тягового привода

(рисунок 9).

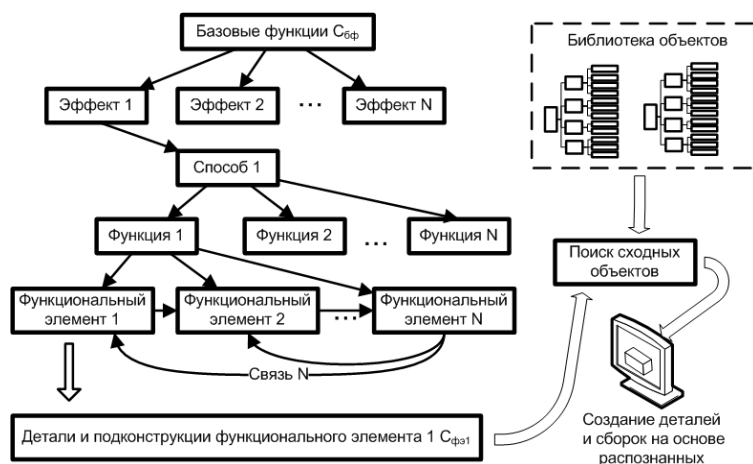


Рисунок 9 – Схема обобщенной объектной модели тягового привода

Модель позволяет производить сравнение технических решений по совокупности признаков и состоящая из двух частей – иерархии множеств описаний тягового привода при разной степени его схематизации, от набора базовых функций до описаний функциональных

элементов – деталей и подконструкций, и библиотеки, содержащей описания типовых объектов – составных частей тягового привода, разделенных на функциональные элементы и описанных в виде иерархической структуры функционального взаимодействия между элементами (И-графа), при этом 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.

Для технических устройств наиболее естественно строить классификацию в той же самой последовательности, как и создавать саму конструкцию. Наиболее общие признаки – это сходный набор функций, наиболее частные – это особенности конструкции, продиктованные особенностями конкретной технологической базы в момент изготовления.

Для этого воспользуемся мерой сходства в виде неотрицательной вещественной функции:

$$C(R_i R_j) = \frac{2m(R_i \cap R_j)}{m(R_i) + m(R_j)}, \quad (3)$$

где $m(R_i \cap R_j)$ – число общих видов в описаниях R_i и R_j ,

$m(R_i)$ и $m(R_j)$ – число видов в описаниях R_i и R_j .

Воспользовавшись матрицей мер сходства находим в столбце наибольшее процентное значения для предполагаемого прототипа, близким к проектируемому объекту.

Зная известные недостатки прототипа, предлагаются возможные варианты устранения этих недостатков. Устранение недостатков найденного прототипа

позволяет получить новые патентоспособные решения.

Таким образом, предложенная объектная модель позволяет заблаговременно прогнозировать возможные недостатки конструкции и заблаговременно искать пути их решения с помощью алгоритмических методов поиска.

Можно сделать вывод, что предложенная объектная модель принципиально позволяет, как автоматизировать процесс классификации, так и выбрать решения при проектировании с устранением недостатков прототипа. Основная задача при практической реализации таких моделей – создание наборов описаний конкретных технических решений, что на данном этапе пока не может быть автоматизировано.

На основе использования обобщенной модели предложены и запатентованы узлы крепления ТЭД и осевых редукторов к раме тележки. Получены патенты РФ на полезные модели (№№ 190819, 190120, 190846, 196906, 207227, 207860, 208704, 206897, 203778, 200670, 198904, 199736, 202196, 206819, 206895, 213368, 215052, 215311, 210965, 213277, 213369).

Заключение

1 Проведен анализ конструкций существующих подвесок тяговых приводов и их характерные конструкционные недостатки и составлена классификация динамических факторов, действующих на элементы КМБ, представленная в виде сетевой модели.

2 Предложен, на основании классификации, упрощенный алгоритм поиска рациональных параметров динамической системы тягового привода.

3 Разработана новая классификация подвесок узлов КМБ, характеризующаяся четырьмя признаками, причем, один из признаков рассматривает имеющиеся технические решения в виде патентов на изобретения и полезные модели. Данная классификация позволяет осуществлять поиск новых технических решений путем выбора новых комбинаций между вариантами способов реализации функций подвесок и вариантами технологического исполнения, исходя из поставленной технической задачи. Предложен ряд запатентованных решений для узлов подвески КМБ.

4 Предложено использовать метод конечных элементов при моделировании работы сферических двуслойных РМШ подвески ТЭД локомотива.

В частности, в процессе проведенного исследования:

- получена верифицированная расчетная схема для определения жесткостных параметров однослойного и двухслойного РМШ;

- предложена методика учета влияния предварительного сжатия упругого слоя при анализе работы РМШ;

- определены значения радиальной жесткости для однослойных и двухслойных РМШ при разных значениях твердости применяемой резины;

- определены требуемые формы свободной поверхности для обеспечения плоской формы после смыкания полуколец.

5 Предложена конструкция двухслойного сферического РМШ с разъемом, упрощающим технологию изготовления, на которую получен патент на полезную модель.

6 Предлагается применение обобщенной объектной модели при создании новых технических решений, состоящей из иерархии множеств описаний конструкций. При этом производится поиск сходных объектов в библиотеке с помощью матриц мер сходства, и дальше процесс проектирования ведется путем видоизменения распознанных типовых узлов и деталей.

С помощью предложенного метода разработаны новые патентоспособные конструкции узла подвешивания КМБ, которые могут быть широко использованы в разных типах локомотивов.

7 Рекомендуются использовать для решения задач модернизации узлов крепления тягового привода локомотивов с целью увеличения ресурса и межремонтных сроков их эксплуатации и для рационального выбора конструктивных решений вновь проектируемых узлов подвешивания КМБ.

8 Перспективой дальнейшей разработки темы является обобщение практического опыта создания патентоспособных конструкций, для совершенствования предложенных методов. Материалы исследований могут быть использованы также для разработки систем диагностики элементов тягового привода в процессе эксплуатации локомотива.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ СОИСКАТЕЛЕМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) в рецензируемых научных изданиях

1 Капустин, М.Ю. Методы комплексного анализа динамической системы тягового привода локомотива / М.Ю. Капустин, Д.Н. Шевченко, О.В. Измеров // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 2. – С. 15-21.

2 Космодамианский, А.С. Поиск новых путей повышения надежности узла

подвески тяговых электродвигателей / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.Ю. Капустин, Д.Н. Шевченко // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 6. – С. 19-26.

3 Космодамианский, А.С. Применение объектной модели для конструирования тягового привода локомотива / А.С. Космодамианский, Д.Я. Антипин, М.А. Маслов, Д.Н. Шевченко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 10. – С. 39-47.

4 Космодамианский, А.С. Проблемы создания перспективной двухосной тележки маневрового тепловоза / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, М.Ю. Капустин, О.В. Измеров, Д.Н. Шевченко // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – № 3. – С. 161-170.

5 Космодамианский, А.С. Классификация как метод поиска новых конструкций узлов крепления колесно-моторных блоков локомотивов / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, М.Ю. Капустин, О.В. Измеров, Д.Н. Шевченко // Транспорт Урала. – 2021. – № 1. – С. 8-14.

6 Космодамианский, А.С. Двухслойные сферические резинометаллические шарниры и проблемы расчета их характеристик А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, Д.Н. Шевченко, Д.Ю. Расин // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2022. – № 2. – С. 114-124.

б) патенты

7 Патент на полезную модель 199736 Российская Федерация. Узел подвешивания тягового электродвигателя / В. И. Воробьев, О. В. Измеров, В. Г. Новиков [и др.] : заявл. № 2020110144 от 11.03.20 ; опубл. 31.07.20, Бюл. № 22.

8 Патент на полезную модель RU 202196, 05.02.2021. Сферический резинометаллический шарнир / В.И. Воробьев, Д.В. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, В.О. Корчагин Заявка № 2020121555 от 29.06.2020.

9 Патент на полезную модель № 198904, СПК В61С 9/50 (2020.02). Узел подвешивания тягового электродвигателя. / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, С.О. Копылов, А.С. Космодамианский, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко Опубл. 31.07.2020, бюл. № 22.

10 Патент на полезную модель RU 206819 U1, 29.09.2021. Устройство для крепления тяговых электродвигателей / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский [и др.] : заявка № 2021110023 от 12.04.2021.

11 Патент на полезную модель RU 206895, 30.09.2021. Узел подвешивания тягового электродвигателя / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, [и др.] : заявка № 2021118614 от 25.06.2021.

12 Патент на полезную модель RU 213368 U1, 07.09.2022. Сферический резинометаллический шарнир / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, В.О. Корчагин, А.А. Пугачев, М.Ю. Капустин, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев, А.Е. Карпов Заявка № 2022116272 от 16.06.2022. бюл. 25.

13 Патент на полезную модель RU 215052 U1, 28.11.2022. Узел подвешивания тягового электродвигателя / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, В.О. Корчагин, А.А. Пугачев, М.Ю. Капустин, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев, А.Е. Карпов Заявка № 2022127141 от 19.10.2022. бюл. 34.

14 Патент на полезную модель RU 215311 U1, 08.12.2022. Узел подвешивания тягового электродвигателя к раме тележки локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, С.Н. Злобин, Д.Н. Шевченко Заявка № 2022126451 от 10.10.2022.

15 Патент на полезную модель RU 213369 U1, 07.09.2022. Узел подвешивания тягового электродвигателя / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, В.О. Корчагин, А.А. Пугачев, М.Ю. Капустин, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев, А.Е. Карпов Заявка № 2022117420 от 28.06.2022. бюл. 25.

16 Патент на полезную модель RU 213277 U1, 05.09.2022. Узел подвешивания тягового электродвигателя / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, В.О. Корчагин, А.А. Пугачев, М.Ю. Капустин, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев, А.Е. Карпов Заявка № 2022117419 от 28.06.2022. бюл. 25.

17 Патент на полезную модель RU 210965 U1, 16.05.2022. Устройство для крепления тягового электродвигателя к раме тележки / В.И. Воробьев, Д.Я. Антипин, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, Д.Н. Шевченко Заявка № 2021109412 от 05.04.2021. бюл. 14.

18 Патент на полезную модель RU 190120 U1, 19.06.2019. Тяговый привод локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, В.О. Корчагин Заявка № 2019101376 от 18.01.2019.

19 Патент на полезную модель RU 190819 U1, 12.07.2019. Тяговый привод локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, В.О. Корчагин Заявка № 2019101374 от 18.01.2019.

20 Патент на полезную модель RU 190846 U1, 15.07.2019. Тяговый привод локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, В.О. Корчагин Заявка № 2019101371 от 18.01.2019.

21 Патент на полезную модель RU 196906 U1, 19.03.2020. Электромотор - колесо / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.А. Пугачев, А.С. Космодамианский, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, В.О. Корчагин Заявка № 2019117489 от 05.06.2019.

22 Патент на полезную модель RU 207227 U1, 18.10.2021. Тяговый привод локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, А.А. Пугачев, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев Заявка № 2021112248 от 28.04.2021.

23 Патент на полезную модель RU 207860, 22.11.2021. Тяговый привод железнодорожного транспортного средства / В.И. Воробьев, Д.В. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев Заявка № 2021118619 от 25.06.2021.

24 Патент на полезную модель RU 208704, 10.01.2022. Тяговый привод железнодорожного транспортного средства / В.И. Воробьев, Д.В. Воробьев, О.В. Измеров, С.О. Копылов, А.С. Космодамианский, А.А. Пугачев, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев Заявка № 2021127786 от 22.09.2021.

25 Патент на полезную модель RU 206897, 30.09.2021. Тяговый привод локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, А.А. Пугачев, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев Заявка № 2021118616 от 25.06.2021.

26 Патент на полезную модель RU 203778, 21.04.2021. Тяговый привод локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, А.А. Пугачев, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, В.О. Корчагин Заявка № 2021101373 от 22.01.2021.

27 Патент на полезную модель RU 200670, 05.11.2020. Тяговый привод локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.С. Космодамианский, М.Ю. Капустин, Н.Н. Стрекалов, А.В. Самотканов, Д.Н. Шевченко, В.О. Корчагин. Заявка № 2020110145 от 11.03.2020.

г) монография

28 Антипин, Д.Я. Техническая инновационника. Поиск новых конструктивных решений: монография / Д.Я. Антипин, М.И. Борзенков, А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, С.Н. Злобин, О.В. Дорофеев, Е.В. Николаев, А.А. Пугачев, Д.Н. Шевченко // под редакцией академика Академии электротехнических наук Российской Федерации, д-ра техн. Наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2021. – 221 с.

Шевченко Дмитрий Николаевич

**РАЗРАБОТКА ОБОСНОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УЗЛОВ
КОЛЕСНО-МОТОРНОГО БЛОКА ЛОКОМОТИВА**

2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация
(технические науки)

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать ____ ____ 2023 г. Формат 60x90/16 Тираж 80 экз.
Усл. печ. л. 1,5 Заказ №

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9