

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Брянский государственный технический университет»

На правах рукописи



Маслов Максим Александрович

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БУКСОВАНИЯ ЛОКОМОТИВА ЗА СЧЕТ
ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Антипин Дмитрий Яковлевич

Брянск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И СТЕПЕНИ РАЗРАБОТАННОСТИ ПРОБЛЕМЫ КОНТАКТА КОЛЕСА И РЕЛЬСА ПРИ НАЛИЧИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ	10
1.1 Анализ литературных источников по способам и факторам, влияющим на величину коэффициента сцепления	10
1.2 Теоретическое объяснение причин влияние магнитного поля на свойства металлов	18
1.3 Физические основы процесса изнашивания металлов	28
1.4 Постановка цели и задач исследования	30
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЛИЯНИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ	31
2.1 Обоснование стендовой установки	31
2.2 Конструкция намагничивающего устройства	34
2.3 Методика проведения эксперимента	42
2.4 Процедура подготовки образцов для лабораторных исследований	48
2.4.1 Подготовка поверхности зоны трения	49
2.4.2 Исследование структуры поверхности образцов	51
2.4.3 Измерения параметров шероховатости	54
2.5 Выводы по разделу 2	57
3 КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСА ЛОКОМОТИВА С РЕЛЬСОМ	58
3.1. Классификация магнитных усилителей сцепления	58
3.2 Поиск новых технических решений магнитных усилителей сцепления ..	61
3.3 Варианты расположения магнитных усилителей коэффициента сцепления на экипажной части	76
3.4 Выводы по разделу 3	84
4 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ	85
4.1 Разработка динамической модели тепловоза 2ТЭ25КМ	85

4.2 Использование магнитных усилителей коэффициента сцепления для создания противобуксовочных систем локомотива	92
4.3 Разработка системы предупреждения начала буксования и его предотвращения.....	96
4.4 Результаты использования магнитных усилителей коэффициента сцепления при установке на математической модели экипажа тепловоза 2ТЭ25КМ.....	108
4.5 Выводы по разделу 4	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	118
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Копии патентов полученных при написании диссертационной работы	136
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Сравнение результатов математического моделирования с результатами ходовых испытаний тепловоза 2ТЭ25КМ	146
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Протоколы измерения шероховатостей образцов.....	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Документ о внедрении результатов работы в ООО «Дипром»	158
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Документ о внедрении результатов работы в учебный процесс кафедры «Подвижной состав железных дорог» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»	159
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Документ о внедрении результатов работы в ОП ООО «ТМХ Инжиниринг» в г. Брянск «Конструкторское бюро «Локомотивы»	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В текущее время стоит крайне важный вопрос о повышении объема перевозок грузов с помощью железнодорожного транспорта, и отсюда появляется значительная необходимость в повышении массы грузовых вагонов. Так же крайне необходимо на постоянной основе удерживать плотный график движения, что способствует поиску решений, которые смогут привести к наибольшей реализации тяговых характеристик локомотивов, в частности при движении на сложных участках пути, в частности, при трогании поездов с места, движении в горку. Принимая во внимание эти задачи, можно разъяснить потребность в повышении коэффициента сцепления в контакте колес с рельсами на техническом уровне.

Одной из самых важных перспектив в области контактного взаимодействия является вопрос изучения физико-химических и фрикционных свойств поверхностных слоев трибологической системы «колесо-рельс», а также поиск инновационных путей, способных добиться повышения как величины, так и стабильности необходимого коэффициента трения в этой взаимосвязи. Проблема описания внешних физических полей, которые оказывают влияние на трибологические свойства пары трения колеса и рельса, рассмотрена на текущий момент в достаточно малой степени. Использование механических, электрических, химических и других методов, направленных на очистку колес и рельсов, не всегда дает стабильные, положительные и очевидные результаты, о чем свидетельствует анализ значительного количества данных из литературных источников.

Степень разработанности темы исследования. Нынешнее представление о взаимодействии колеса с рельсом основывается на достижениях в таких науках, как механика, физика, химия, а также трибология, триботехника, материаловедение и других. Работы как отечественных, так и зарубежных исследователей А.И. Ивахина [1], В.О. Корчагина [2], Ф.П. Боудена [3], Д.В. Воробьева [4], А.П. Буйносова [5], Д.Н. Гаркунова [6], Н.Б. Демкина [7], Б.В. Дерягина [8], Д.И. Петракова [9], В.С. Косова [10], И.П. Исаева [11], А.Ю. Ишлинского [12],

Д.Д. Калкера [13], И.В. Крагельского [14], Д.К. Минова [15], Д.Ю. Погорелова [16], О.С. Валинского [17], Г.В. Самме [18], Д. Тейбора [19], И.В. Волкова, В.И. Колесникова, А.В. Людаговского, М.Г. Шалыгина, Г.М. Волохова, С.Г. Волохова и др. позволили решить обширный круг задач, относящихся к сцеплению колеса рельсом. В настоящее время применение песка, выступающего в качестве абразива в зоне контакта колеса и рельса, для обеспечения устойчивого сцепления является наиболее распространённым. Следует отметить, что его применение приводит как к снижению электрического сопротивления балласта, так и к загрязнению путей, а также не маловажным факторам является повышение износа колес и рельсов.

Так же значительный вклад в исследование вопросов динамики, прочности, безопасности подвижного состава, включая тяговый, оказали работы ученых: Э.С. Оганьяна, А.Н. Савоськина, В.И. Киселева, В.А. Николаева, Л.Б. Цвика, Д.Н. Курилкина, Ю.А. Давыдова, А.А. Воробьёва, Е.К. Рыбникова, И.И. Галиева, В.А. Четвергова, А.Г. Силюта, А.В. Сакало, В.И. Сакало, Г.С. Михальченко.

Вопросы совершенствования тягового привода и автоматизации его управления изложены в научных работах следующих исследователей: Ю.М. Инькова, А.Н. Савоськина, В.В. Грачева, А.А. Пугачева, А.В. Грищенко, А.М. Евстафьева, В.П. Смирнова, А.В. Самотканова, Е.Ю. Логиновой, О.Е. Пудовикова, М.Д. Глущенко, В.Н. Балабина, А.А. Зарифьяна, В.А. Кручек, В.В. Никитина, А.Т. Осяева, П.Г. Колпахчяна, С.М. Овчаренко.

Цель и задачи. Цель работы заключается в разработке и техническом обосновании решений системы предотвращения буксования локомотива за счет воздействия магнитного поля на зону контакта колеса и рельса.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить существующие способы повышения коэффициента сцепления колес тягового подвижного состава и рельса;

- разработать и изготовить устройство для намагничивания зоны трения катковой установки на базе стенда для моделирования динамических процессов в

тяговом приводе локомотива, получить экспериментальные данные по влиянию магнитного поля на зону контакта образцов из стали;

- исследовать влияние магнитного поля на трибологические характеристики пар контакта;

- разработать методику обоснования конструктивных решений магнитных усилителей коэффициента сцепления и созданных на их основе устройств предупреждения и предотвращения буксования, позволяющую формировать патентоспособные решения;

- обосновать конструктивные решения магнитного усилителя коэффициента сцепления колеса и рельса, а также его рациональные параметры;

- разработать проектное решение устройства предупреждения и предотвращения буксования локомотива;

- выполнить оценку работоспособности и эффективности предложенной системы предупреждения и предотвращения буксования.

Объектом исследования в работе является система предотвращения буксования колёс локомотива.

Предметом исследования является зона контакта колеса и рельса.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1 Методами математического и натурного моделирования обоснованы рациональные параметры устройства для намагничивания зоны контакта катков.

2 Экспериментальными методами выполнена оценка влияния магнитного поля на микроструктуру поверхностей пары трения.

3 Разработана методика, позволяющая получить патентоспособные решения противобуксовочных систем подвижного состава на основе объектной модели технических решений.

4 Обоснована принципиальная схема устройства предупреждения и предотвращения буксования, построенная на базе магнитных усилителей коэффициента сцепления.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1 Предложены технические решения, обеспечивающие реализацию воздействия на зону контакта колеса и рельса на основе существующих способов и систем усиления коэффициента сцепления.

2 Разработана конечно-элементная электромагнитная модель устройства намагничивания зоны трения катковой установки, позволяющая определить выбор рациональных параметров устройства для намагничивания.

3 Разработано устройство намагничивания зоны трения катковой установки.

4 Проведены экспериментальные исследования, позволившие сделать выводы о влиянии магнитного поля на коэффициент трения и микроструктуру материала.

5 Предложена классификация конструктивных особенностей магнитных усилителей коэффициента сцепления, позволяющая на основе объектной модели технических решений получить патентоспособные решения.

6 Разработана конечно-элементная электромагнитная модель, позволившая определить параметры магнитного усилителя коэффициента сцепления и подтвердить его работоспособность.

7 Предложена принципиальная схема противобуксовочной системы на базе магнитного усилителя коэффициента сцепления.

8 Разработана пространственная твердотельная динамическая модель поезда с локомотивом, оборудованным предложенной противобуксовочной системой, позволившей подтвердить ее работоспособность и эффективность.

Методология и методы исследований. Для исследования магнитных полей использовано конечно-элементное моделирование, позволяющее исследовать электромагнитные процессы, происходящие в парах трения. Экспериментальные исследования проводились на модернизированных стендовых установках, с использованием средств контроля и обработки данных с использованием ПЭВМ, а также с использованием металлографического оборудования и профилографических методов контроля. Исследование динамических

характеристик подвижного состава проводилось с использованием пространственных динамических моделей подвижного состава по реальным неровностям пути, реализованных в среде модуля *UM Loco* программного комплекса «Универсальный механизм».

Положения, выносимые на защиту:

- обоснование использования модернизированных стендовых установок при изучении эффекта влияния магнитного поля на взаимодействие стальных пар трения;

- результаты исследований влияния магнитного поля на коэффициент трения и микроструктуру поверхности образцов;

- обоснование применения объектной модели для получения патентоспособных технических решений при разработке противобуксовочных устройств на базе магнитных усилителей коэффициента сцепления;

- математическая модель магнитного усилителя коэффициента сцепления для определения влияния величины воздушного зазора между магнитным индуктором и рельсом на индукцию магнитного поля между колесом и рельсом;

- схема противобуксовочной системы на базе магнитного усилителя коэффициента сцепления;

- результаты компьютерного моделирования предложенной противобуксовочной системы, установленной на динамической модели поезда при различных условиях движения.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Достоверность полученных результатов подтверждается удовлетворительной сходимостью данных расчетов с результатами экспериментальных исследований, проведенных на разработанном стенде и натурных испытаний магистрального тепловоза 2ТЭ25КМ, а также с результатами исследований, которые проведены ранее ведущими учеными и исследовательскими центрами.

Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях: «Наука и образование в современных условиях» (Научно-издательский центр «Мир науки», 2017),

«Техника и технологии наземного транспорта» (УрГУПС, 2018), IV международная конференция по промышленному инжинирингу ICIE 2018 «Springer International Publishing, 2018», V Международная научно-практическая конференция «Новые горизонты» (БГТУ, 2018), V международная конференция по промышленному инжинирингу ICIE 2019 «Springer International Publishing, 2019», VI Международная научно-практическая конференция «Новые горизонты» посвященная 90-летию БГТУ (БГТУ, 2019), VII научно-практическая конференция с международным участием «Новые горизонты» (БГТУ, 2020), Международная интернет-конференция «Современные проблемы железнодорожного транспорта» (РУТ 2020), VIII научно-практическая конференция с международным участием «Новые горизонты» (БГТУ, 2021), III Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике» (ЮЗГУ, 2021).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 36 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, 2 в журналах, входящих в перечень изданий, индексируемых в международной базе цитирования Scopus. Результаты исследования вошли в 1 монографию и 1 учебное пособие, получено 14 патентов РФ на полезную модель, 14 публикаций в других научных изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения с основными итогами, рекомендациями, списка использованных источников и приложений. Общий объем диссертации с приложениями составляет 160 страниц. Диссертация содержит 75 рисунков, 8 таблиц, 6 приложений. Список использованных источников включает в себя 142 наименования.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И СТЕПЕНИ РАЗРАБОТАННОСТИ ПРОБЛЕМЫ КОНТАКТА КОЛЕСА И РЕЛЬСА ПРИ НАЛИЧИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

1.1 Анализ литературных источников по способам и факторам, влияющим на величину коэффициента сцепления

Для реализации максимальной провозной способности локомотивов необходимо обеспечить максимально возможное использование мощности тягового подвижного состава.

Полное использование мощности локомотивов в ряде режимов работы затруднено недостаточным сцеплением колёс с рельсами.

Российские и зарубежные специалисты в области поездной тяги приходят к мнению, что реализация тяговых возможностей подвижного состава формируется из коэффициента сцепления и осевых нагрузок. Величина коэффициента сцепления формируется из нескольких показателей: усилий, передаваемых от колеса на рельс, пятна контакта, геометрического состояния контактируемых поверхностей. Значительное снижение коэффициента сцепления возникает при загрязнении пути. К загрязняющим факторам можно отнести следующие осадки: иней, грязь, наледь, изморось и т. п.

Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных локомотивов указывает на широкое изменение коэффициента сцепления, зависящего от различных условий, в пределах от 0,1 вплоть до 0,6.

С учетом повышения веса состава грузовых поездов реализация мощности локомотивов в значительной степени зависит от коэффициента сцепления, который в свою очередь зависит от коэффициента трения.

Проанализировав известные факторы влияния на коэффициент сцепления колеса с рельсом, составим классификацию (рисунок 1.1), основанную при рассмотрении большого объёма отечественной и зарубежной литературы.

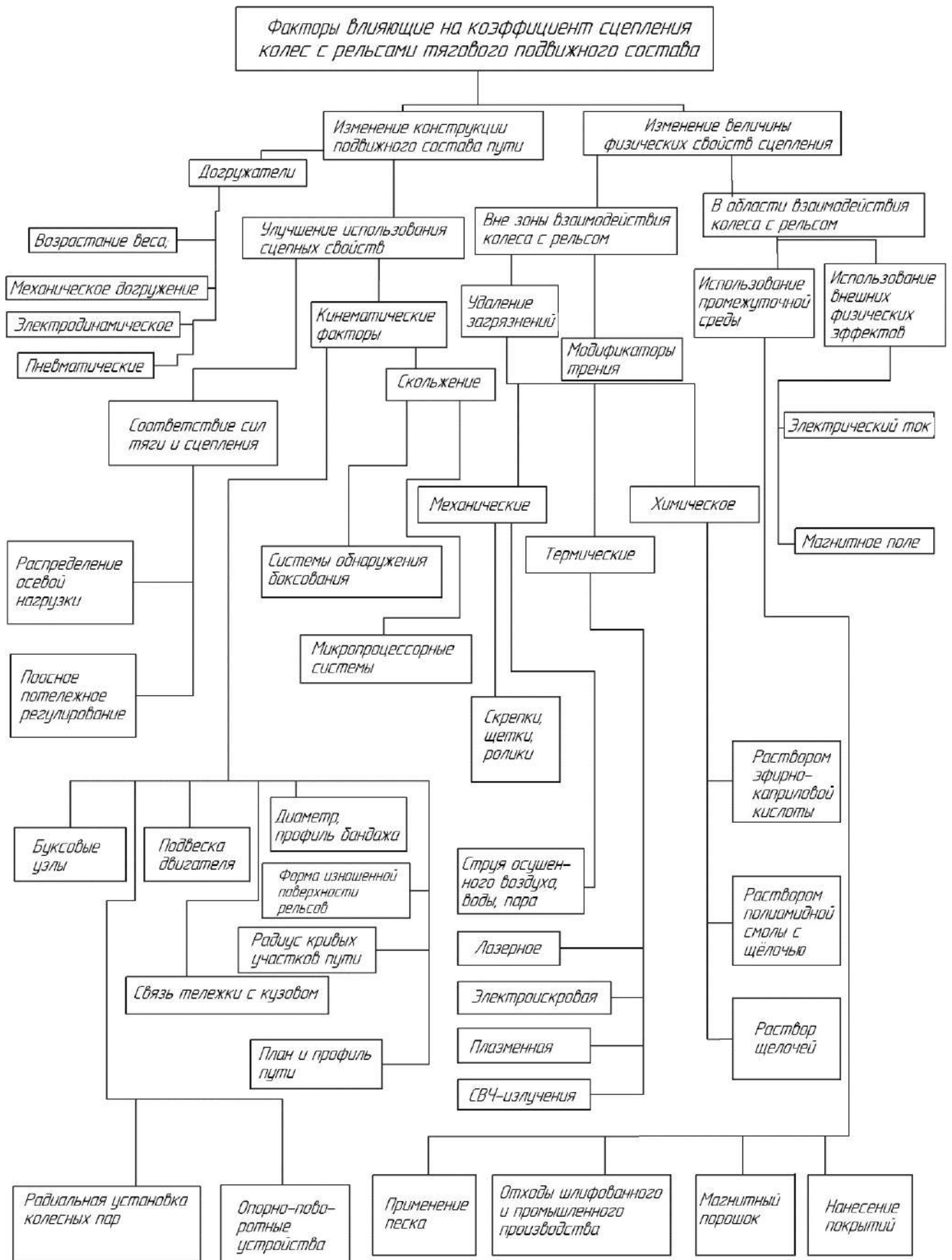


Рисунок 1.1 – Классификация факторов, влияющих на тяговые свойства

Анализ классификации (рисунок 1.1) позволяет выделить следующие пути увеличения коэффициента сцепления:

- увеличение коэффициента сцепления путём изменения конструкции пути и локомотива;
- увеличение коэффициента сцепления изменением физических характеристик пятен контакта колеса и рельса.

Способы, входящие в первую группу, можно объединить в способы, использующие догрузатели и способы, где увеличение коэффициента сцепления достигается путем улучшения сцепных свойств (без догружения).

К вспомогательным методам догружения можно отнести:

- использование веса, приходящегося на необмоторенные оси подвижного состава, и догружение за счет веса прицепляемого вагона через автосцепку;
- использование механических аппаратных комплексов, работающих по принципу прижимания колес колёсной пары к рельсовому полотну, используя ролики, которые, в свою очередь, оказывают воздействие на нижнюю часть головки рельса. В свою очередь, подобные конструкции не стали использоваться ввиду того, что велик шанс выхода из строя устройств при прохождении стрелочных переводов. В связи с этим подобного рода устройства целесообразно использовать в узкопрофильном направлении, в частности, на промышленном транспорте, где отсутствуют стрелочные переводы;
- использование устройств, создающих электромагнитны силы, которые в свою очередь, создают дополнительную нагрузку;
- использование пневматических догрузателей.

Догружатели эффективны при малом сцепном весе тягового подвижного состава, эксплуатирующегося при скоростях до 30-40 км/ч.

Улучшения использования сцепных свойств можно добиться за счет реализации требуемых сил тяги и сил сцепления, а также за счет реализации различных кинематических факторов.

Соответствие тяги и тяговой способности достигается за счет равномерного распределения нагрузки на оси, а также перераспределения тяги по осям.

Равномерность по осям возможно реализовать в следующих случаях:

- с помощью изменения конструктивных особенностей экипажной части (подвешивание тяговых электродвигателей по отношению к оси колесной пары, применение как наклонных, так и низких горизонтальных тяг, применение конструктивного варианта с низким опусканием шкворня локомотива);

- за счет распределения нагрузки по осям при использовании догрузателей.

Однако нужно отметить, что такие решения редко доступны для современных локомотивов из-за высокого коэффициента использования сцепного веса, который равен 0,95.

Что касается скольжения (абсолютного и относительного), то появление современных систем обнаружения начала буксования, микропроцессорных систем и датчиков мощности сделало технически возможным оптимизировать его величину для достижения максимального тягового усилия. Этот метод пересекается с методами поосного и по тележечного регулирования.

Снижение тяговых характеристик из-за компонента бокового скольжения в кривых может быть уменьшено за счет конструкции транспортного средства, уменьшающей угол набегания, при котором колесные пары наезжают на рельсы.

Исходя из концепции дискретных контактных структур [21], сила трения F может быть рассчитана по сумме сопротивлений, возникающих в результате молекулярных и механических взаимодействий в отдельных точках контакта:

$$F = \tau_{\text{мол}} \cdot A_{\text{мол}} + \tau_{\text{мех}} \cdot A_{\text{мех}}, \quad 1.1$$

где $\tau_{\text{мол}}, \tau_{\text{мех}}$ – удельные молекулярные и механические взаимодействия или силы трения;

$A_{\text{мол}}, A_{\text{мех}}$ – фактическая площадь молекулярных и механических контактов.

Из этого сделан вывод, что общий коэффициент трения F складывается из молекулярной и механической составляющих

Необходимые мероприятия для повышения и стабилизации коэффициента сцепления в трибологической системе «колесо-рельс» условно разделены на две группы, принадлежность к которым определяется способом воздействия на молекулярные $f_{\text{мол}}$ и механические $f_{\text{мех}}$ составляющие коэффициента сцепления, но

можно видеть, что одни и те же методы могут влиять как на молекулярную, так и на механическую составляющую. Таким образом, в предлагаемой классификации ветвь "изменение значения физических свойств трения" можно разделить на следующие виды:

- изменение свойств поверхности вне границы контакта «колесо-рельс»;
- изменение свойств поверхностей в области контакта системы «колесо-рельс».

Методы, используемые до зоны контакта, можно разделить на две категории, а именно: удаление загрязнений и нанесение модификатора.

Модификаторы трения (*HPF*, *VHPF* и *LCE*) [22-24] используются во многих странах, а именно: в Канаде, Франции и США для улучшения свойств фрикционного контакта. Методы удаления загрязнений, в свою очередь, можно классифицировать как термические и механические, а также на химические.

Очистка рельсов железнодорожного полотна химическим способом основана на взаимодействии пленок смазки, жирных кислот с определенными химическими растворителями. Следует отметить, что был проведен ряд натурных испытаний по очистке рельсов химическими составами [25-27], в ходе проведения испытаний авторами установлено, что при обработке рельсов раствором эфир-каприловой кислоты наблюдалось значительное повышение сцепных свойств, в ряде испытаний наблюдалось повышение коэффициент сцепления, вплоть до 30 %. Помимо методов обработки растворами кислот проведены исследования по обработке рельсового полотна как водными растворами, так и щелочными растворами полиамидной смолы [28]. Но проведение натурных испытаний позволило установить, что описанные методы эффективны в незначительной степени ввиду того, что требуются значительные временные затраты, а также отмечено, что при прохождении нескольких составов обработку необходимо вновь повторять. Следует упомянуть о проведении исследований по очистке рельсов и колес щелочными растворами [20], которые показали увеличение молекулярного коэффициента сцепления до 37 %.

Методы удаления загрязнений делятся на механические и термические.

Механические методы делятся на те, которые основаны на механической очистке, и те, которые основаны на очистке газа или же жидкости под высоким давлением.

Были предприняты различные попытки механического воздействия для удаления загрязнений с поверхностей катания, принцип очистки заключался в следующем: впереди тепловозов устанавливались различные щетки, а также эластичные ролики [29]. Однако следует отметить, что подобные методы не могли в должной степени очищать контактные поверхности и могли быть использоваться только на низких скоростях.

Принимаются меры по очистке рельсов сухим воздухом [30] и мощными струями воды или пара [31]. Такие методы трудно использовать зимой, поскольку чистящий раствор быстро замерзает на верхнем строении пути. К термической очистке относится, описанный в [28] способ очистки рельсов пламенем. В работах [32-37] приводятся результаты исследований способов очистки с помощью плазмы. Были проведены эксперименты по применению метода электроискровой обработки, который предполагает нагрев поверхности рельса до высоких температур путем воздействия ионизированного газа и прямого включения положения искрового разряда, для очистки рельсов. Эксперименты показали, что этот метод очистки эффективен только на сухих, чистых рельсах.

В [20] предлагается обрабатывать загрязнения поверхности (особенно рельсы, покрытые маслом или льдом) потоком микроволн, которые представляют собой электромагнитную колебательную энергию в миллиметровом диапазоне волн.

В качестве главных преимуществ предложенного метода являются быстрое и плавное управление тепловым потоком, а также возможность сохранения структуры материала как колес, так и рельсов. В качестве недостатков такого метода стоит выделить значительное энергопотребление, а также обеспечить защиту от интенсивных микроволн.

В работе [38] авторы предложили в качестве метода по очистке рельсов применять излучение светового диапазона, которое, в свою очередь, близко

к оптическому, испытания предложенного метода проводились на железных дорогах Британии. Механизм очистки – сублимация (путем разложения или испарения загрязнений). Технологии, основанные на воздействии, можно разделить на две основные группы: с промежуточными носителями и без них. Методы без промежуточных сред подразделяются на токи, магнитные поля и т.д., в зависимости от используемых физических эффектов.

К самому распространенному из способов использования промежуточной среды относится применение песка [25, 39-41].

В работах [26, 42] упомянуты варианты попыток повышения сцепных свойств контактирующих элементов с помощью мраморной крошки, углекислого калия, доменного шлака и карборунда в качестве абразивных материалов не имеет разницы в количестве нанесения [43], где отмечается, что песок, этиленгликоль, вода и представлены эксперименты с незамерзающей суспензией, состоящей из связующего вещества, подаваемого в контактную струю. В [30] была исследована система подачи, дозирования, распределения и удержания абразивного магнитного порошка (отходов процесса измельчения). Применение абразивного магнитного порошка увеличивало коэффициент сцепления на 20-30 %. Применение системы сдерживается более высокой стоимостью порошка и отсутствием его местных ресурсов по сравнению с песком.

Повышение трибологических свойств в пятне контакта колеса и рельса можно добиться за счет разнообразных физических эффектов. Исследования показали, что коэффициент трения возрастает примерно вдвое при подаче электрического тока и превышает 0,5 на сухих поверхностях катания. В настоящее время считается, что это явление связано с электропластическими эффектами, которые увеличивают адгезионную составляющую силы трения.

Рациональный выбор методов повышения сцепления для перспективного подвижного состава в условиях глобализации рынка, очевидно, не является чисто технической задачей, т.к. к факторам технической эффективности добавляются финансово-экономические. Следует учесть, что при оценке результативности способов необходимо принимать во внимание синергический эффект

от одновременного применения нескольких способов, а также то, что потребителя интересует не столько величина коэффициента сцепления, сколько возможность повысить вес состава без нарушений графика движения поездов.

В связи с этим прибегнем к следующему алгоритму выбора. Для начала отбросим все решения, имеющие явно выраженное «нишевое» применение. В их число, очевидно, войдут:

- все способы, связанные с использованием иных принципов создания тяги;
- способы, основанные на увеличении сцепного веса и механическом догрузении (в связи с ограничениями осевой нагрузки);
- способы, связанные с применением иного материала для колеса или рельса.

Кроме того, следует отметить, что методы, основанные на очистке рельсов различными способами, фактически эволюционировали для использования в качестве средства обслуживания путей путевой техникой, а не оборудованием локомотивов или моторвагонного подвижного состава (МВПС). Модификаторы трения, как упоминалось выше, рискованно использовать, когда условия эксплуатации неизвестны.

Это означает, что остается два способа максимизировать естественное сцепление и увеличить физическое сцепление в зоне контакта. Легко заметить, что эти методы дополняют друг друга. При этом внутри подкласса методов максимального использования сцепных свойств методы, обеспечивающие соответствие сил тяги и сцепления по осям столь же естественно взаимодополняемы с методами оптимизации скольжения, а внутри подкласса методов увеличения физического сцепления методы, основанные на использовании третьего тела, взаимодополняемы с методами, основанными на иных физических принципах.

Остается только конкретизировать методы, но следует обязательно принимать в расчет следующие обстоятельства:

- конфигурации, в которых нагрузка распределена равномерно, фактически являются стандартом сегодня для моторных тележек;

– использование тока является достаточно эффективным (удвоение силы трения даже в режиме абсолютного скольжения) и позволяет избавиться зависимость системы оптимизации скольжения от внешних условий эксплуатации.

– электрическое сопряжение осей фактически является одним из алгоритмов системы оптимизации скольжения;

– использование песка для улучшения сцепления с путями остается распространенным в настоящее время, но производители стремятся свести к минимуму необходимость использования песка. В итоге приходим к следующему прогнозу рациональной комбинации основных способов улучшения сцепных свойств для перспективных железнодорожных экипажей, предназначенных для поставки в условиях глобального рынка:

– экипажная часть, обеспечивающая равномерное распределение нагрузок по осям;

– система оптимизации относительного скольжения колес при реализации тяги/торможения;

– система увеличения коэффициента сцепления за счет воздействия магнитного поля в зонах контакта.

При этом сохраняется также использование песочной системы (при сведении потребности в ней к минимуму).

1.2 Теоретическое объяснение причин влияние магнитного поля на свойства металлов

В настоящее время единое понимание природы рассматриваемого явления невозможно: как указано в [25], несмотря на огромное количество экспериментальных данных и существование множества моделей для объяснения магнитопластического эффекта, не существует последовательной теории, которая могла бы объяснить экспериментальные данные с единой точки зрения. Более того, в зависимости от автора, физическая картина явления может состоять из противоположных взглядов. К примеру, в работе [44] авторами был получен

следующий вывод, что при намагничивании внешним электромагнитным полем происходит повышение количества активных центров, обусловленное ростом количества дислокаций. Повышение площади, которую занимают активные центры, способствует к некому увеличению усилия. Помимо этого, в работе [43] авторами рассматривалось оказываемое влияние магнитного поля на повышение параметров износостойкости для сталей ХВГ, авторы в этой работе руководствовались тем, что "ориентация доменов под действием магнитного поля препятствует движению дислокаций в поверхностном слое пропорционально магнитной восприимчивости образца". Поэтому пластическая деформация поверхностных микрошероховатостей и начало закалки тормозятся пропорционально. Кроме того, в [43] выдвинуто предположение, что образовавшиеся фрагменты разрушения становятся округлыми в результате пластической деформации и контактируют с магнитным полем, тем самым способствуют уменьшению сил трения. Несмотря на это, гипотеза не подтвердилась результатами, полученными экспериментальным исследованием [44], в ходе которых отражено, что магнитное поле вызывает повышение силы трения.

В работах [25, 26, 39, 45] авторами было выполнено описание влияния магнитного поля на перемещение дислокаций, что им также позволило пояснить изменение характеристик рассматриваемого материала.

Влияние внешних магнитных полей на термоэлектродвижущие силы, которые могут возникать в зоне контакта колеса с рельсом, в настоящее время также недостаточно изучено. Несмотря на то, что известно, о том, при резании металлов в зоне резания происходит возбуждения термоэлектродвижущих сил, процессы, которые связаны с этим возбуждением, также изучены в крайне малой степени, как указано в [46], «подобные явления осуществляются не только в парах инструмент-заготовка, но также и в парах взаимного трения металлических образцов». Согласно [46], в зоне резания могут возникать слабые электрические разряды, газовая и паровая кавитация, вызывающая разрушение мелких деталей и поверхности инструмента, разрушение поверхности взрывом очень мелких

паровых пузырьков, образующихся при испарении жидкостей и материалов, и электромагнитная индукция, характеризующаяся интенсивностью магнитного поля, под воздействием теплового электромагнитного поля. Естественно, внешнее магнитное поле влияет на ток, возникающий в результате термоэлектродвижущей силы.

В ряде исследований [26, 28, 38, 45] изучалось влияние магнитных полей.

По внутреннему трению в различных материалах [47] было установлено, что при приложении импульсного магнитного поля уровень низкочастотного внутреннего трения в азотсодержащей стали быстро возрастал после выключения магнитного поля и поддерживался в течение примерно 60 минут, после чего монотонно снижался и приближался к первоначальному значению.

Как отображено в работе [45], что при воздействии импульсным магнитным полем на бронзу происходило повышение внутреннего трения, при этом, если воздействовать повторно импульсным магнитным полем на образец, было установлено, что происходит не долгосрочное уменьшение внутреннего трения, что приводит к последующему увеличению при следующей магнитопластической деформации.

В свою очередь, следует отметить, что магнитострикционная модель не может должным образом объяснить неординарную взаимосвязь магнитострикции от величины напряженности магнитного поля, помимо этого, изменение внутреннего трения материалов, которое различается по знаку, подверженные обработке импульсными магнитными полями.

В работе [48] авторами были представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию импульсного магнитного поля, изменяющего кристаллическую структуру прецизионных сплавов *Fe-Si-Al*, с использованием методов электронной микроскопии, а также мессбауэровской спектроскопии. В этом исследовании авторами показано, что магнитно-импульсная обработка является наиболее эффективным вариантом воздействия на физико-механические параметры прецизионных сплавов. Применение указанной обработки материалов дало возможность повысить в 1,5-1,8 раза физико-механические параметры

для сплавов, а также в 3 раза позволило добиться увеличения трещиностойкости. Указанное упрочнение позволяет создавать дополнительные напряжения (упругие) и способствует уменьшению концентраций вакансий при воздействии магнитно-импульсного поля.

В [49] авторами работы было исследовано оказываемое влияние магнитных полей на эффект электропластичности в кремнии. Эксперименты показали, что скорость миграции дислокаций при возбуждении постоянным током была ниже в образцах, обработанных магнитным полем, чем в образцах, которые возбуждались только током. Другими словами, неизвестно, как совместное действие устройств магнитного поля и тока, которые увеличивают коэффициент сцепления за счет действия магнитного поля и тока, изменяет общий коэффициент сцепления.

Рассмотрим подробнее основные теории, объясняющие изменения физических свойств материалов под воздействием магнитных полей.

Как было отмечено авторами в [50]: «увеличение долговечности материалов и инструментов, которые подвергались обработке магнитным полем, объясняется оказываемым взаимодействием возбужденных молекул водорода, которые появились в месте соприкосновения взаимодействующих поверхностей с магнитным полем. Очевидно, что эффект увеличения параметров износостойкости деталей, а также инструментов при обработке магнитным полем зависит как от направления магнитного поля, так и от напряженности, которые в свою очередь обеспечивают быстрое и полное отведение возбужденных молекул и атомарного водорода за пределы зоны взаимодействия поверхностного слоя». Следы направленного движения возбужденных молекул водорода в магнитном поле были обнаружены авторами с помощью воздействия атомов водорода на фотослой.

Д.Н. Гаркуновым с соавторами трение рассматривается как некое явление, определяемое помимо внешнего воздействия еще и магнитными, электрическими силами [51].

Влияние, оказываемое электронными спинами, которые распределяются в нарушениях симметрии строения кристаллов, в настоящее время воспринимают как одну из составляющих причин увеличения скорости движения дислокаций при оказываемом действии внешнего электромагнитного поля.

К текущему времени было установлено, что управления как физическими, так и химическими процессами в твердых телах перестройкой спинов при обработке магнитными полями получила значительное развитие. Структурные дефекты, в которых располагаются электронные спины, зачастую оказывают воздействие на механические свойства кристаллов, в частности отражено в работе [52].

Экспериментально было доказано воздействие спин-зависимых процессов в магнитных полях на пластическое деформирование ионных кристаллов, было опубликовано значительное число научной литературы в этом направлении, что способствовало возникновению в физике пластичности направления, позволяющего черпать значимую информацию спин-зависимых процессах на микроуровне, которые оказывают влияние на параметры твердых тел, привело к появлению спиновой микромеханики, которая является новым направлением в физике пластмасс.

В работе [53] предполагают, что намагниченность в области насыщения обусловлена разрушением (размножением) дислокаций, связанным с вращением вектора спонтанной намагниченности (спина), и что основным процессом, приводящим к разрушению межзеренной (межблочной) границы, является вращение мартенситных зерен в одном домене, что приводит к сравнению явлений магнитострикции и наклёпа, другим аналогичным механизмом изменения структуры, по мнению авторов, является разрушение границ зерен блоков и фрагментов при движении доменных стенок. При этом авторы не делают различия между воздействием на металл постоянного импульсного магнитного поля.

При выполнении обзора теоретических работ установлено, что для дальнейшего развития теоретических моделей оказываемого воздействия магнитных полей на характеристики материалов в основном препятствует

отсутствие приборов, способных измерять различные физические величины (такие как деформация, температура, напряжение, ток, магнитное поле и электрическое поле) в толще материала вблизи, так называемых, микрозон и контактного взаимодействия на поверхности детали, в процессе движения мешало отсутствие приборов, способных измерять эти величины во время движения.

При использовании магнитного поля в любом случае будет получен положительный эффект, как минимум, за счет дополнительного притяжения колес к рельсам, что в ряде случаев позволит обойтись без подталкивающего локомотива в магистральном движении, или использовать более дешевый локомотив с меньшим числом осей в маневровом движении или промышленном транспорте. В последнем случае необходимо учесть также лучшую возможность прохождения крутых кривых при двухосных тележках.

Для реализации вариантов конструкции магнитных усилителей сцепления представлена следующая методика:

- на предварительном этапе разработки разнообразных конструктивных вариаций усилителей сцепления для определения магнитного потока и механической нагруженности конструкции до реализации стендовых испытаний и в качестве их сопровождения;

- моделирование локальных механических напряжений и термических процессов в зоне контакта «колесо-рельс».

Это позволяет выбрать вариант сборки, провести комплексные испытания на прочность на стенде, а затем изготовить макет модели локомотива, оснащенного вышеупомянутым магнитным усилителем сцепления. После этого проектирование магнитного усилителя сцепления для серийного локомотива можно уже начинать в интерактивном режиме, в ходе которого выявляются эксплуатационные проблемы макета и проводится инженерный анализ для их решения.

Из вышеизложенного анализа можно сделать вывод, что конструкторы не должны просто наметить хорошо составленный, логичный план вспомогательных работ для устройства, опыта проектирования которого они раньше не имели.

Повышение сцепления обнаружено не только для ферромагнитных материалов, но и для взаимодействующей пары трения «ферромагнетик-диаманетик», что отображено в монографии [54].

Выполнена оценка влияния переменного магнитного поля на износ и возникающее трение для стали ХС48, что отражено в работе [55]. При проведении экспериментальных исследований для скользящего контакта «сталь-сталь» было использовано магнитное поле, созданное переменным током с частотой 50 Гц. При проведении исследований установлено, что изменением напряженности магнитного поля в пределах от 0 до 8 кА/м произошло увеличение коэффициента трения с 0,16 до 0,23. Помимо этого в работе отмечено, что при воздействии внешним магнитным полем на испытываемые образцы удалось добиться снижения их износа, увеличения микротвердости и увеличения трибоокисления поверхностей трения.

Отмечая отсутствие систематических исследований влияния магнитных полей (МП) на трение и износ, в работе [56] выделены три направления изучения влияния МП на триботехнические свойства образцов из различных материалов:

- а) когда намагничивание вызывается импульсными МП в соленоидах переменного тока;
- б) при намагничивании постоянным МП электромагнита постоянного тока;
- в) в условиях, когда испытываемая трибосистема установлена в постоянном магнитном поле.

Авторы считают, что основное влияние на процессы трения и износа в ферромагнитных материалах, которые являются компонентами трибосопряжений, оказывает усиленная доменами остаточная намагниченность. Именно остаточная намагниченность формирует магнитострикционное упругое напряжение, а масштаб образования и миграции дислокаций отвечает за пластические свойства поверхности трения.

В работе [47] приведен анализ морфологических особенностей поверхностей трения пальца и диска, а также частиц износа. Испытания проводились на воздухе, материал пальца и диска – никель.

Установлено, что горизонтальное магнитное поле способствует росту износа, как и в случае отсутствия МП. Приложение внешнего вертикального МП приводило к изменению вида изнашивания – от сильного к умеренному. Такой подход связывают с усилением роли окислительных процессов и переходом от адгезионного изнашивания к окислительному.

Интерес представляет исследование влияния магнитного поля на возникновение и рост усталостных трещин для узлов трения качения с проскальзыванием. При наличии внешнего МП трещина возникает вблизи поверхности качения. Тогда размеры отделившейся частицы износа оказываются соизмеримы с размерами частиц износа при трении скольжения. Поверхность качения в этом случае не содержит опасные с точки зрения безопасности движения, например, для колес железнодорожного транспорта, выщербины.

Исследования, проведенные в работе [57], показали, что для стальных поверхностей внешнее магнитное поле изменяет характер коэффициента трения.

С ростом напряженности магнитного поля коэффициент трения растет.

Обращает на себя внимание рост коэффициента трения покоя (сцепления) в начальный момент времени и отсутствие колебаний коэффициента трения в последующие моменты испытания.

Увеличение коэффициента трения при условии приложения внешнего магнитного поля связывают с интенсификацией процессов трибоокисления и более прочной связью окисленных слоев стальной поверхности с основным материалом.

С помощью установки (рисунок 1.2) проводилось исследование влияния магнитного поля на процессы трения и изнашивания. Было установлено, что в результате намагничивания коэффициент трения растет (рисунок 1.3).

Соответствие между намагниченностью и коэффициентом трения поразительно (рисунок 1.3). Там, где есть пик намагниченности, коэффициент трения увеличивается. Этот результат соответствует ранее полученным данным [58].

В работе [59] влияние магнитного поля на изменение коэффициента трения объясняется магнестрикционным изменением формы и размеров, приводящим к изменению топографии поверхности на уровне субмикрощероховатости.

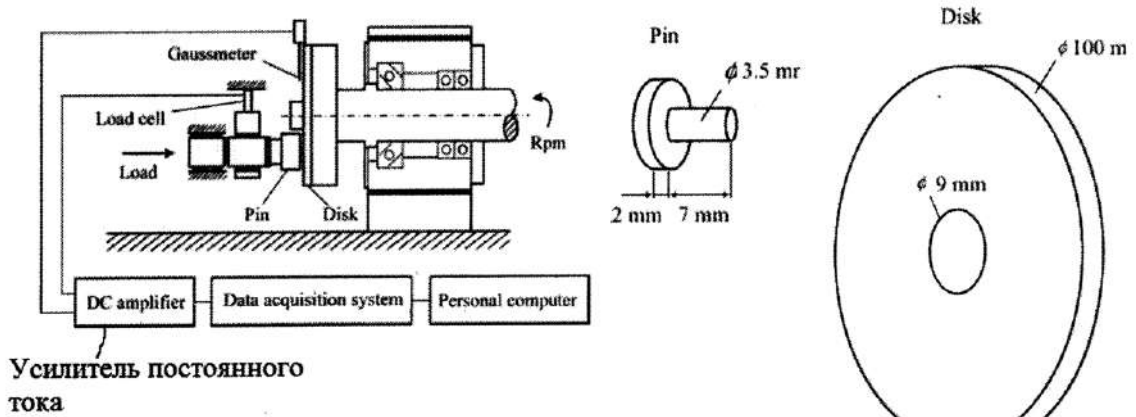


Рисунок 1.2 – Схема установки и исследуемые образцы [58]

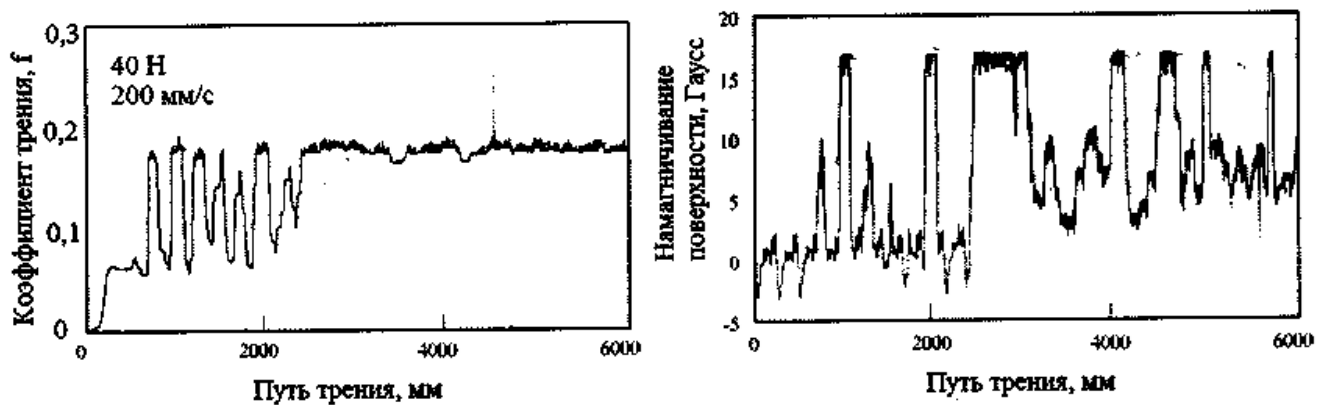
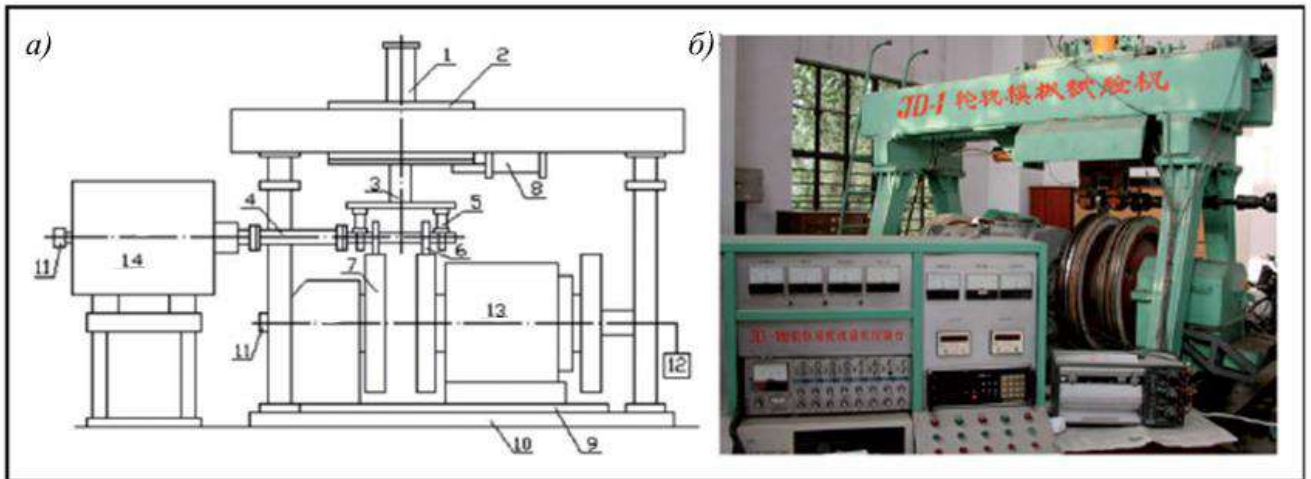


Рисунок 1.3 – Зависимость коэффициента трения и намагниченности от пути трения [58]

В работе [60] установлено, при воздействии магнитного поля на образцы, имитирующие взаимодействие колеса и рельса, сцепление между последними возрастает не только за счет магнитного притяжения, но и за счет изменения коэффициента трения. В работе отмечается, что [58] при увеличении напряженности магнитного поля 0,6 до 7,4 кА/м коэффициент трения между образцами возрастал с 0,176 до 0,220.

В работе [61] рассматривается работа стенда (рисунок 1.4) по исследованию характеристик взаимодействия колеса с рельсом при магнитном поле.

Столбчатые магниты (N35, $\Phi 15 \times 5 \text{ мм}^2$) фиксируются и расположены равномерно вдоль обеих сторон контактной поверхности имитирующего колесный ролик (расстояние от центра магнита до контактной поверхности колесного ролика составляет около 9 мм). Для изменения магнитного поля количество магнитов составляет 10, 20 и 30 соответственно на каждой стороне контактной поверхности имитирующего колеса.



а – структурное представление; б – фотография испытательной машины
 1 – вертикальный загрузочный цилиндр; 2 – погрузочная тележка;
 3 – шпиндель и хомут; 4 – универсальный вал; 5 – трехмерный датчик нагрузки;
 6 – имитационное колесо; 7 – симуляционная рейка; 8 – Боковой загрузочный цилиндр;
 9 – поворотная пластина; 10 – опорная плита;
 11 – кодер оптического вала; 12 – двигатель измерения скорости;
 13, 14 – тяговый электродвигатель постоянного тока

Рисунок 1.4 – Механизм моделирования колес-рельсов JD-I [61]

Скорость рельсового ролика составляет около 60, 90, 100 и 120 км/ч, соответственно. Колесные и рельсовые ролики изготавливаются из колесных и рельсовых сталей, соответственно.

Коэффициент сцепления колеса и рельса увеличивается в условиях воды или масла, когда магнитное поле прикладывается к колесному ролику. Сделан вывод, что использование магнитного поля полезно для улучшения взаимодействия колесных и рельсовых роликов и оказывает значительное влияние на улучшение уровня сцепления колеса и рельса.

Когда число магнитов увеличивается с 10 до 30, магнитная сила усиливается. В статье представлено, что коэффициент сцепления колесных и рельсовых роликов

возрастает, когда число магнитов увеличивается с 10 до 20. Кроме того, коэффициент сцепления не имеет видимого изменения, когда количество магнитов увеличивается с 20 до 30. При увеличении числа магнитов коэффициент адгезии остается стабильным в условиях масла. Увеличение магнитной силы улучшает коэффициент сцепления колеса и рельса при наличии воды. Из этого был сделан вывод, что применение внешнего магнитного поля позволяет улучшить многие параметры системы «колесо-рельс», что, в свою очередь, компенсирует увеличенные напряжения в пятне контактирующих элементов, которые вызваны повышением давления от колеса на рельс и касательных сил.

1.3 Физические основы процесса изнашивания металлов

Механизм изнашивания металлических поверхностей в настоящее время находится в центре внимания, поскольку можно сказать является главным вопросом в процессе прогнозирования долговечности поверхностей трения. К текущему времени разработано несколько теорий процесса износа, каждая из которых по-своему способна объяснить природу этого явления. К теориям процесса износа относятся атомно-молекулярная, усталостная и механохимическая концепции разрушения поверхности при трении.

В первом концепции, посвященной процессу изнашивания, принцип объяснён как удаление молекул материала с поверхности трения, отращен этот принцип в работе [62]. Следует отметить, что предложенная теория не смогла достичь обширного признания ввиду не схождения её с экспериментальными исследованиями, в которых представляется информация о продуктах износа [63].

Усталостный механизм объемного разрушения поверхности контакта(трения) лежит в основе второго направления [21], где в качестве объекта разрушения принят микрообъем основного материала.

Следует отметить, что описанный механизм применим лишь к режимам трения, относящимся к патологическим, то есть к тем, которые можно приравнять к повреждаемости поверхности, и не соответствующий для реальных пар трения.

При рассмотрении ряда исследований, обзор на которые изложен в [64], авторами экспериментальным путём было продемонстрировано, что механизм изнашивания как механический, так и окислительный реализованы для режимов трения непатологических. Отмечено, что описанного процесса сущность объясняется тем, что в роли подверженного разрушению объекта выступает плёнка химических соединений, не относящаяся к самому материалу.

Появление оксида, появляющегося на поверхности металла, происходит при его активации, а окислители их окружающей среды, в свою очередь, пассивируют возникновение оксидных соединений. Стоит учесть тот факт, что в качестве так называемых экранизаторов выступают плёнки, которые разрушаются, в это время защищая материал от разрушения, при достижении предела они подвергаются процессу деградации. К немаловажным особенностям относится их возможность восстанавливаться при достижении распада, чему могут поспособствовать внешние реактивы, а также внешняя активация их при механическом взаимодействии, процесс между разрушением и образованием плёночных соединений называется динамическим равновесием, которым определяется износостойкость.

Механистическая концепция этого явления разработана в работах Б.И. Костецкого [65] и др. и подтверждается экспериментальными результатами, несмотря на это, многие исследователи приравнивают описанный процесс как «особый» случай износа, которому не присущи стандартные условия эксплуатации пары трения. Доказательство ведущей роли механохимических процессов в непатологическом (нормальном) состоянии кинематической пары является целью таких исследований. Одним из доказательств механохимических явлений износа обычно является химический анализ продуктов износа. Этот метод не совсем надежен из-за длительного времени между исследованием и отслоением продуктов износа.

За это время химический состав растрескавшихся частиц может значительно измениться ввиду влияния значительной механохимической активации, а также

внешних воздействий окружающей среды. Как правило, оксиды имеют разную стехиометрию.

В качестве главной проблемы изучения природы механизмов износа является банальная невозможность применять классические методы контроля физико-химического состояния исследуемой поверхностей в процессе трения. Исходя из этого изучение механизмов разрушения поверхности, зачастую, складывается из косвенных методов исследования.

1.4 Постановка цели и задач исследования

В соответствии с этим целью диссертационной работы заключается в разработке и техническом обосновании решений повышения сцепных качеств тепловозов за счёт введения магнитного поля в контакт «колесо-рельс». Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1 Изучить существующие способы повышения коэффициента сцепления колес тягового подвижного состава и рельса.

2 Разработать и изготовить устройство для намагничивания зоны трения катковой установки на базе стенда для моделирования динамических процессов в тяговом приводе локомотива с электропередачей, получить экспериментальные данные по влиянию магнитного поля на зону трения каткового стенда.

3 Исследовать влияние магнитных полей на коэффициент трения.

4 Разработать методику обоснования конструктивных решений магнитных усилителей коэффициента сцепления и созданных на их основе устройств предупреждения и предотвращения буксования.

5 Предложить патентоспособные решения для практического использования исследований на тяговом подвижном составе.

6 Разработать динамическую модель тепловоза на базе программного комплекса Универсальный механизм (*УМ*), позволяющую исследовать влияние магнитных усилителей коэффициента сцепления на динамические характеристики тепловоза.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЛИЯНИЮ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ

2.1 Обоснование стендовой установки

Изучение процессов, возникающих между колесом и рельсом при их взаимодействии, проводились экспериментально на лабораторной установке [44, 47, 66, 67], а также с использованием каткового стенда [38, 68, 65, 71] и при натурных испытаниях подвижного состава [7, 21, 69, 70].

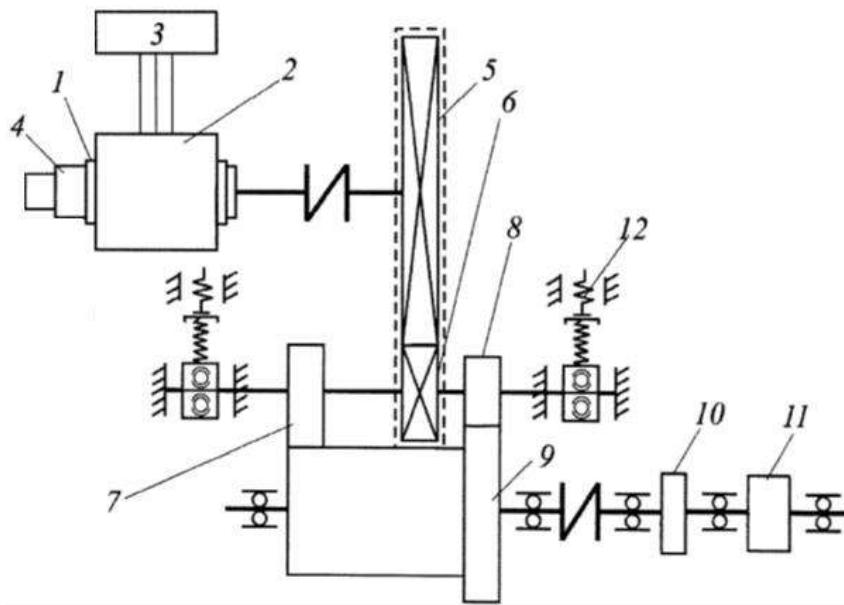
Каждая область исследований имеет как преимущества, так и недостатки по сравнению с другими. В представленной диссертационной работе был выбран лабораторный метод исследования, который предоставляет возможность в должной степени определить среди обобщенных факторов те, которые оказывают наибольшее влияние на процесс возникновения сцепления при контакте колеса с рельсом.

Рекомендуется придерживаться принципа, изложенного Кузнецовым Д.В.: «Задача научного исследования – изучать явление в его упрощенном виде, а не во всей его сложности, и при этом из всех факторов, влияющих на это явление, меняется только один, остальные факторы не меняются». Экспериментальные исследования, проведенные на стендовой установке, позволяют качественно понять изменения в рассматриваемом случае и количественно оценить интересующий нас коэффициент трения при варьировании различных факторов.

В диссертационной работе был рассмотрен стенд, позволяющий моделировать динамические процессы в тяговом приводе локомотива с электропередачей [71], разработанный на кафедре «ПСЖД» Брянского государственного технического университета (рисунок 2.1).

Выходное напряжение преобразователя подается на вход тягового двигателя, якорь которого соединяется с колесной парой локомотива при помощи тягового редуктора. Колеса колесной пары локомотива опираются на каток, который при этом с помощью вала соединяется с маховиком. Роль маховика заключается

в имитации массы поезда, а нагрузочная машина в это время позволяет установить необходимую силу прижатия. Прижимное устройство, имитирующее сцепной вес состава, включается после приведения в работу стендовой установки. Напряжение от выходного преобразователя, питающего тяговый электродвигатель (ТЭД), регулируется при этом как частотой, так и амплитудой напряжения. Якорь при этом через редуктор соединен с колесной парой локомотива, колесная пара опирается на каток стенда через колеса.



1 – индукционный нагреватель; 2 – теплоизоляционный материал; 3 – преобразователь;
4 – ТЭД; 5 – редуктор; 6 – колёсная пара; 7, 8 – колесо; 9 – каток; 10 – маховик;
11 – нагрузочная машина; 12 – нажимное устройство

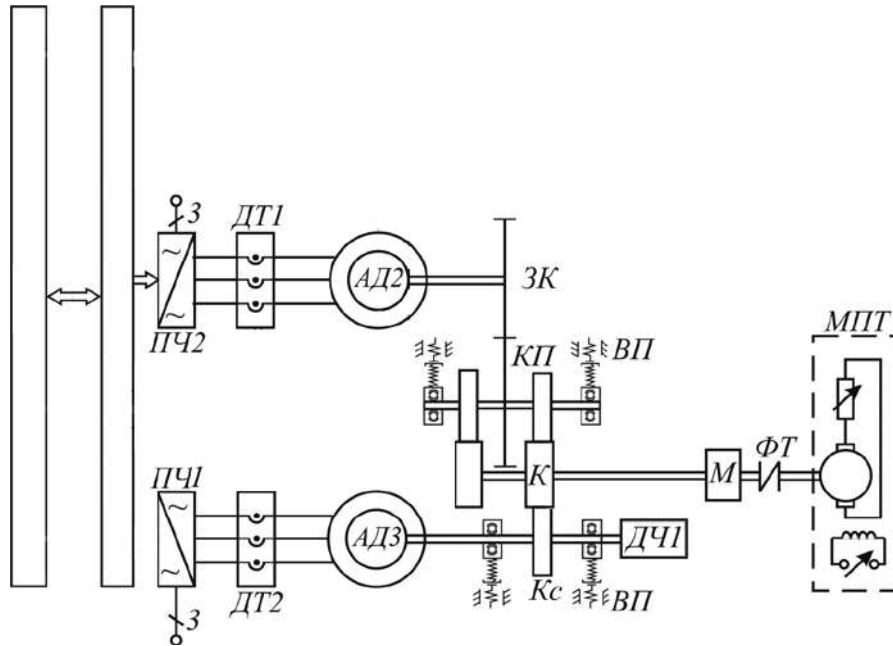
Рисунок 2.1 – Структурная схема стенда [71]

Использование колес с различным диаметром [71] позволяет определить область возникающих режимов буксования и автоколебаний, зависящих от разности диаметра одного колеса к диаметру второго, а также от величины их сцепления с катком, определяющейся силой взаимодействия с нажимным устройством.

Недостатком указанного стенда является невозможность проводить исследования по определению влияния магнитного поля на сцепные свойства колеса с рельсом.

В качестве прототипа был выбран стенд [72], функциональная схема которого представлена на рисунке 2.2, а общий вид физической модели стендовой

установки представлен на рисунке 2.3.



*ЗК – зубчатое колесо; АД – асинхронный двигатель; ДЧ – датчик частоты; К – каток;
 КП – колесная пара; М – маховик; ВП – винтовое прижимное устройство;
 МПТ – электрическая машина постоянного тока; ПЧ – преобразователь частоты;
 Кс – колесо; ФТ – фрикционный тормоз*

Рисунок 2.2 – Функциональная схема физической модели стендовой установки [72]

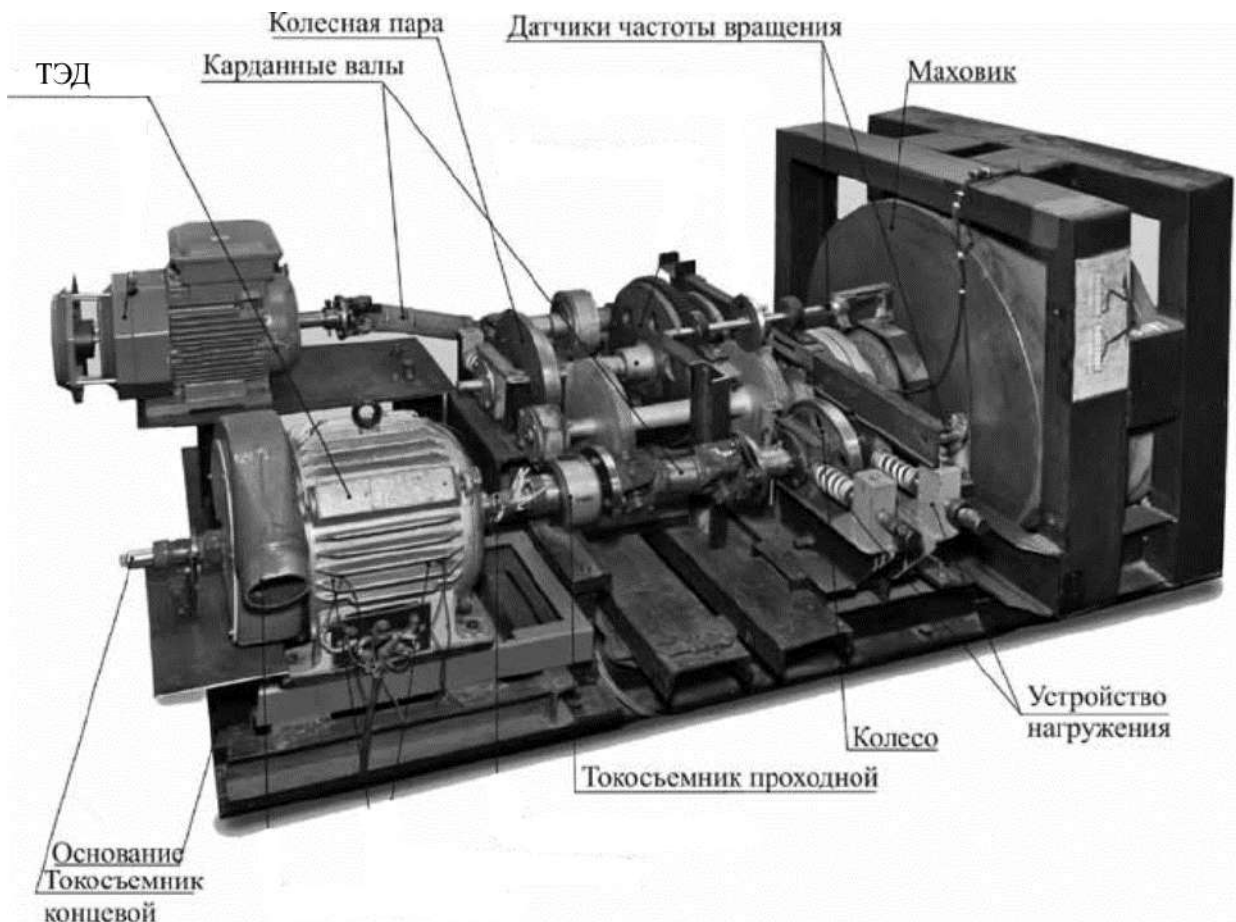


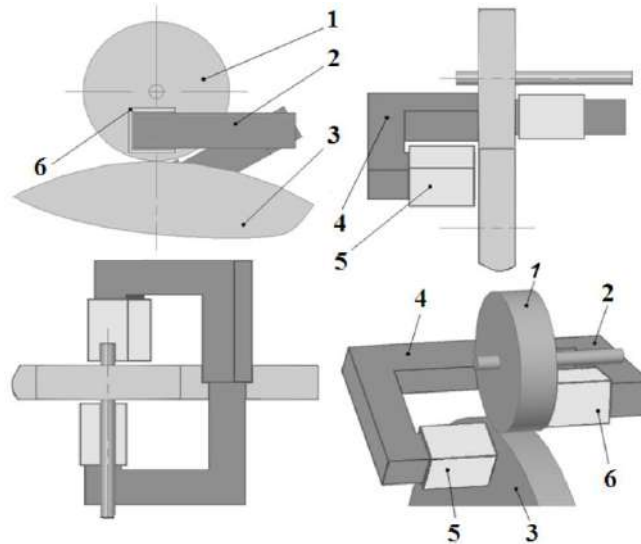
Рисунок 2.3 – Общий вид физической модели стендовой установки

В ходе выполнения диссертационной работы была поставлена задача расширения функциональных возможностей стенда.

2.2 Конструкция намагничивающего устройства

Для решения задачи по модернизации стендовой установки с участием автора было разработано устройство (рисунок 2.4), позволяющее производить намагничивание зоны контакта фрикционных пар, моделирующих колесо и рельс.

В работе [73], написанной совместно с автором диссертации, не малая часть внимания отведена теоретическому анализу проблем и методов исследования, а также определению характеристик магнитного поля.



*1 – ведущий каток; 2 – магнитопровод поворотный; 3 – ведомый каток;
4 – магнитопровод поворотный; 5, 6 – обмотки индуктора*

Рисунок 2.4 – Устройство для намагничивания зоны трения катковой установки [73]

В работе [73] предложено выполнить в виде комбинированной конструкции, то есть из двух поворотных частей, по концам которых располагаются обмотки индукторного устройства. Обмотки индуктора расположены таким образом, что прилегают с торцов ведомого и ведущего катков, имитирующих контакт «колесо-рельс» с зазором. Обе части магнитопровода соединяются и повернуты на установленный угол между собой. Роль поворотных частей магнитопровода заключается в объединении зоны трения с источником силы намагничивания,

в роли которой выступают обмотки индукторов, соединение выполнено последовательно, в свою очередь, это даёт возможность достигать максимального намагничивания зоны трения как в продольном, так и в поперечном направлениях и позволяет добиться наименьшего рассеивания магнитного поля.

Были рассмотрены различные конструктивные варианты исполнения магнитопровода.

Использование программного комплекса *Ansys Maxwell* позволило определить величины напряженности магнитного поля в зоне контакта катковой в зависимости от угла поворота магнитопроводов. На рисунке 2.5 магнитопроводы A1 – B1 и A2 – B2 лежат в одной плоскости с зоной трения катков, но при таком расположении присутствует только поперечная составляющая магнитного поля Φ , а вот продольная составляющая в насыщении не участвует ($\beta = 0$). При этом намагничивание зоны трения незначительное.

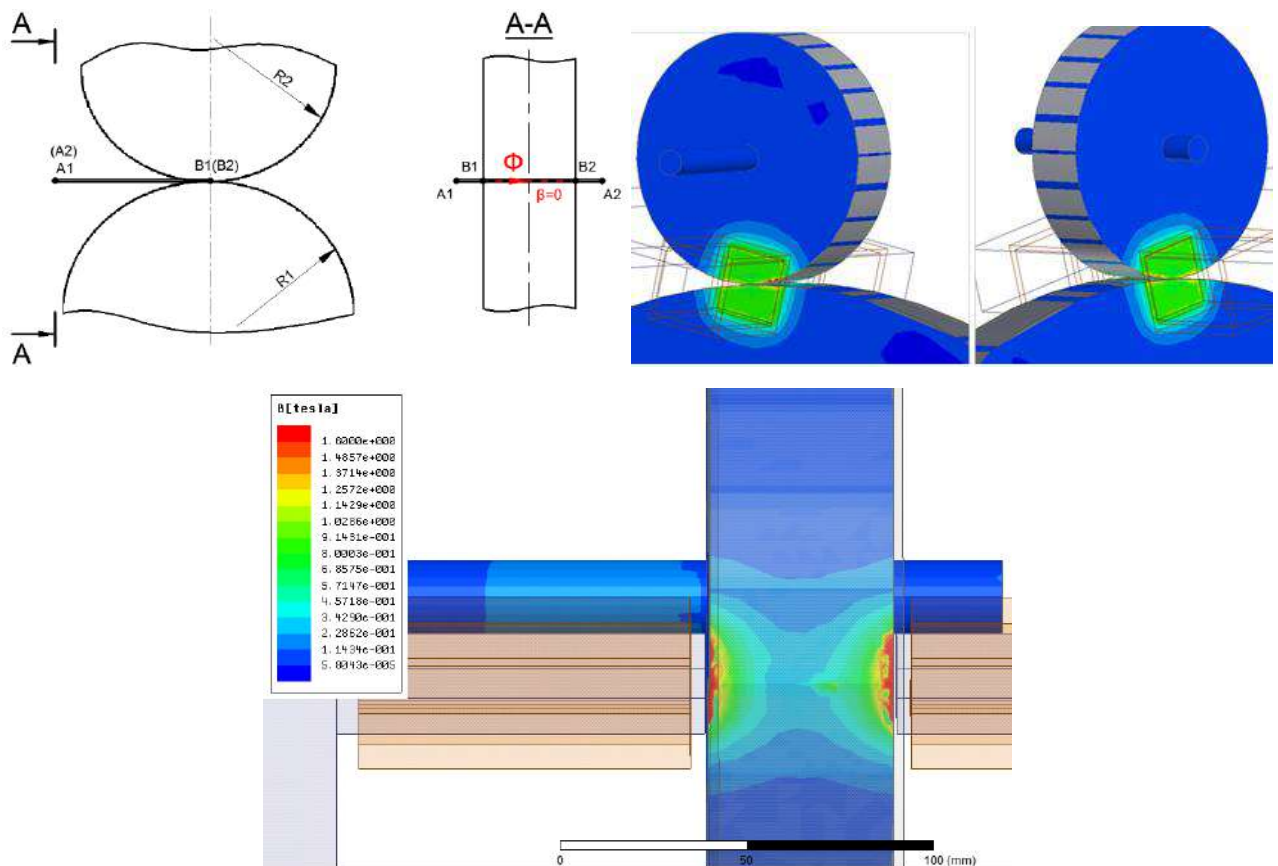


Рисунок. 2.5 – Ориентация вектора и распределение магнитного поля при расположении двух магнитопроводов в зоне трения [73]

На рисунке 2.6 магнитопровод A1 – B1 повёрнут ниже зоны трения на

15 градусов, а магнитопровод A2 – B2 находится на уровне зоны трения. При этом за счёт поперечной составляющей вектора магнитного поля Φ намагничивается преимущественно правая часть зоны трения.

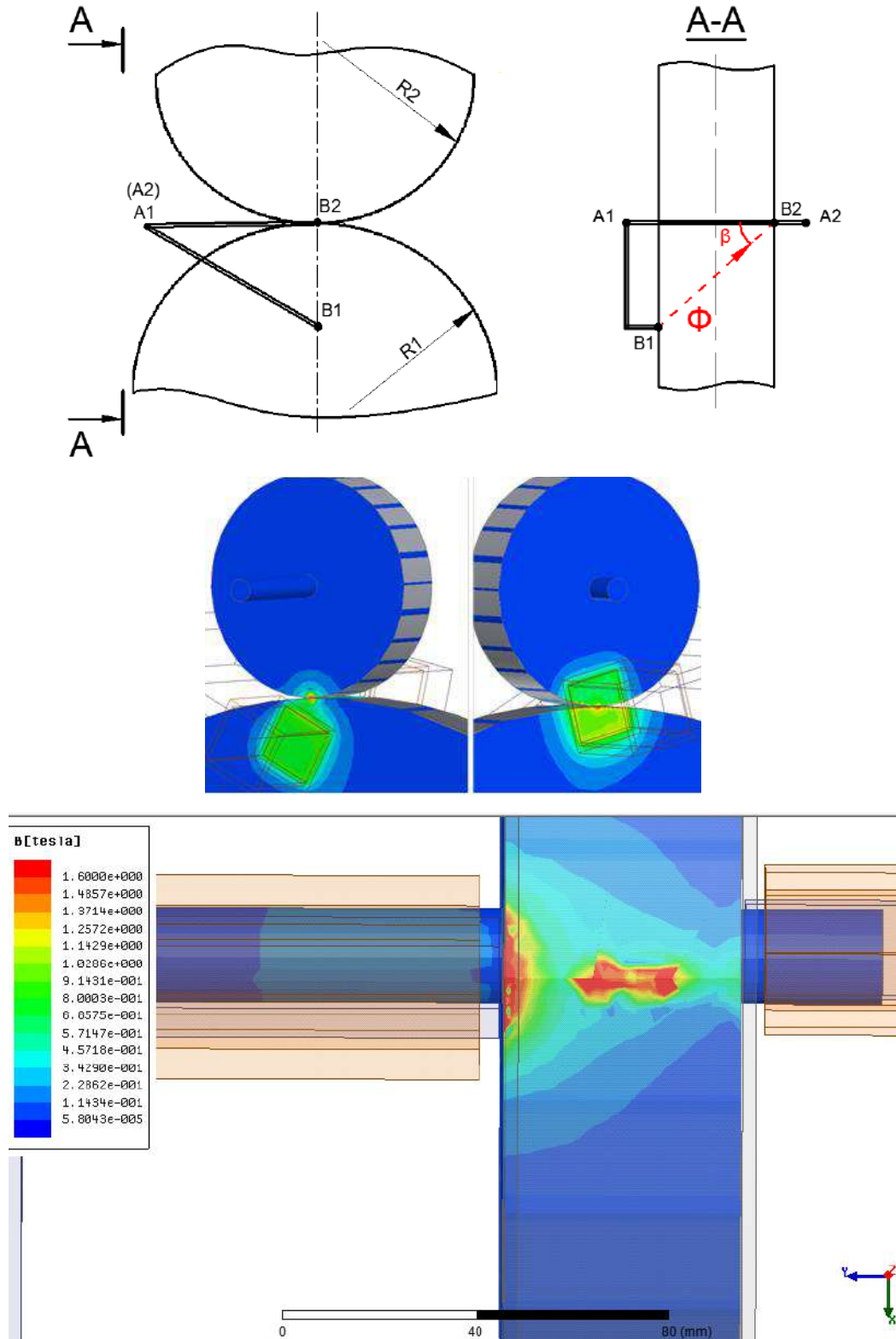


Рисунок. 2.6 – Ориентация вектора и распределение магнитного поля при повороте одной из частей магнитопровода относительно зоны контакта [73]

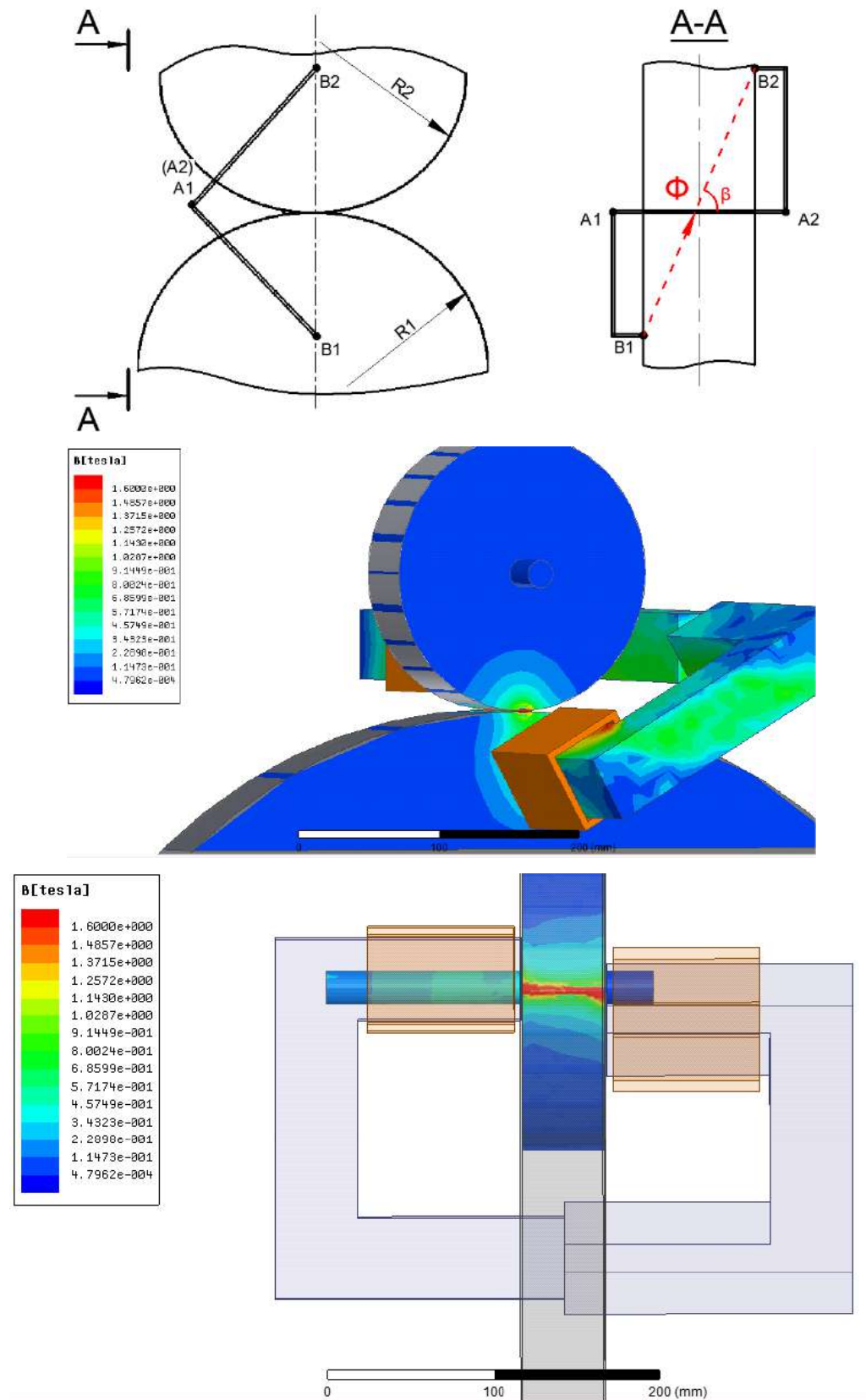


Рисунок. 2.7 – Ориентация вектора и распределение магнитного поля при расположении двух магнитопроводов вне зоны трения [73]

На рисунке 2.7 магнитопровод A1 – B1 повернут ниже зоны трения,

а магнитопровод $A2 - B2$ повернут выше зоны трения. При таком расположении основное преобладание остается за продольной составляющей магнитного поля Φ , это позволяет добиться равномерного намагничивания зоны трения.

Для поиска самой короткой траектории магнитного потока и направления вектора магнитного поля по отношению к зоне контакта катков каткового стенда задано плечо магнитопроводов, которое обозначено как величины $L1$ и $L2$, помимо этого были заданы углы поворота обеих частей магнитопроводов по отношению к горизонтальной, оси она же является осью, расположенной в пятне контакта $\alpha1$ и $\alpha2$; при этом проекции частей магнитопровода $X1, X2$ на горизонтальную ось и $Y1, Y2$ на вертикальную ось выразятся следующим образом.

$$\begin{aligned} X1(\alpha1) &:= A1B1 \cdot \cos(\alpha1); Y1(\alpha1) := A1B1 \cdot \sin(\alpha1); \\ X2(\alpha2) &:= A2B2 \cdot \cos(\alpha2); Y2(\alpha2) := A2B2 \cdot \sin(\alpha2); \end{aligned} \quad 2.1$$

Определение самой короткой траектории магнитного потока $B1 - B2$ и направление вектора магнитного поля относительно зоны трения катков катковой установки β (в градусах) было получено с помощью выражений:

$$B1B2(\alpha1, \alpha2) := \sqrt{h^2 + (X1(\alpha1) - X2(\alpha2))^2 + (Y1(\alpha1) + Y2(\alpha2))^2} \quad 2.2$$

$$\beta(\alpha1, \alpha2) := \arccos \left[\frac{h}{\sqrt{h^2 + (X1(\alpha1) - X2(\alpha2))^2 + (Y1(\alpha1) + Y2(\alpha2))^2}} \right] \cdot \frac{180}{\pi} \quad 2.3$$

Изменение угла вектора магнитного поля относительно зоны трения имеет возрастающую зависимость от углов поворота магнитопроводов, зависимость представлена на рисунке 2.8.

Проведя представленные выше исследования, получили следующие результаты. Если пропускать магнитный поток через валки вертикально (от оси к оси), то поток проходит по наружным сторонам, середина не насыщается.

Было установлено, что оптимальным углом поворота магнитопроводов является оптимальный поворот на 15° каждой части магнитопровода в противоположные стороны для максимального насыщения зоны контакта колесо-рельс.

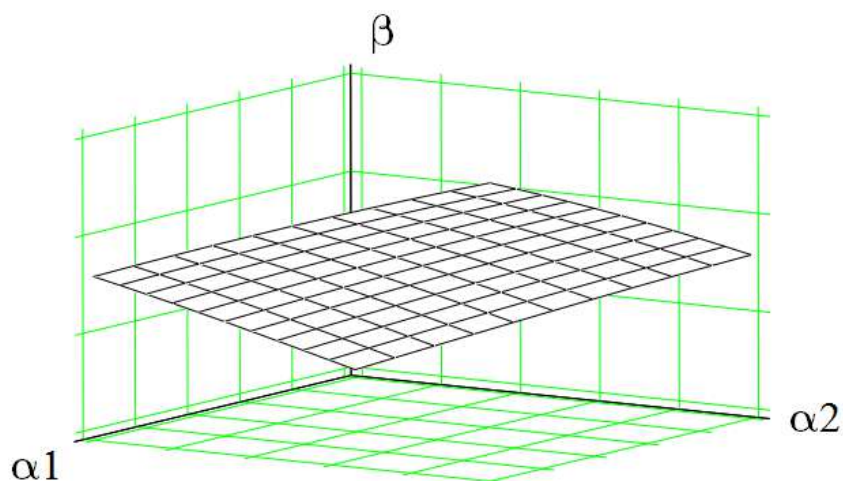
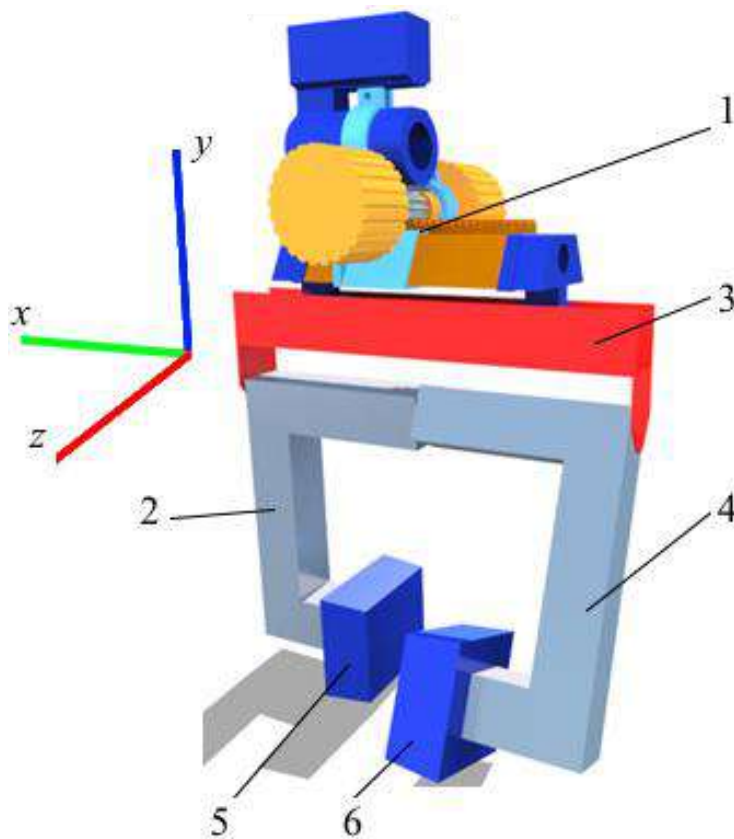


Рисунок. 2.8 – Изменение угла вектора магнитного поля при повороте магнитопроводов [73]

При использовании программного комплекса *ASCONE Компас 3D* были доработаны дополнительные компоненты для реализации подвешивания и регулировки намагничивающего устройства на стенде (рисунок 2.9), а детализировка разработанных компонентов представлена на рисунке 2.10.



*1 – регулировочное устройство; 2,4 – магнитопровод поворотный;
3 – немагнитная проставка; 5,6 – обмотки индуктора*

Рисунок 2.9 – Общий вид устройства для намагничивания зоны трения колеса с рельсом катковой установки

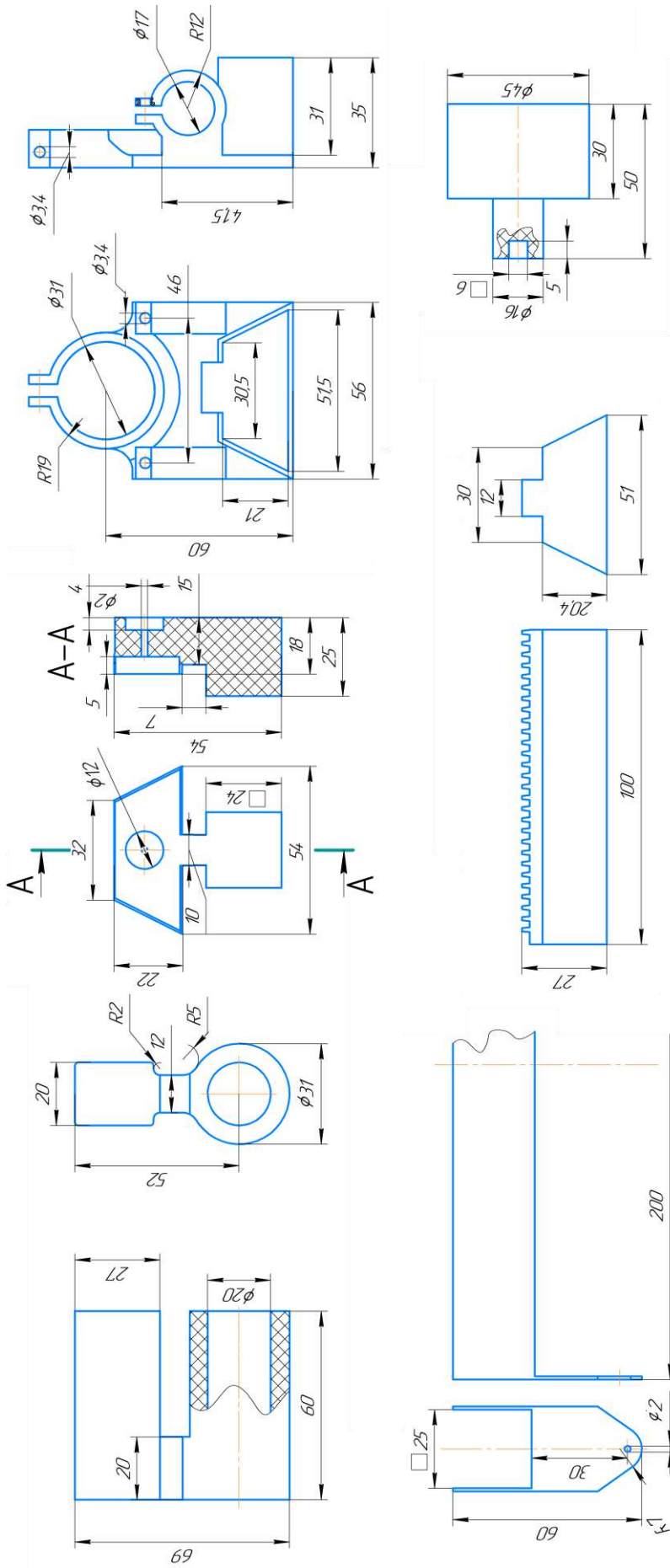
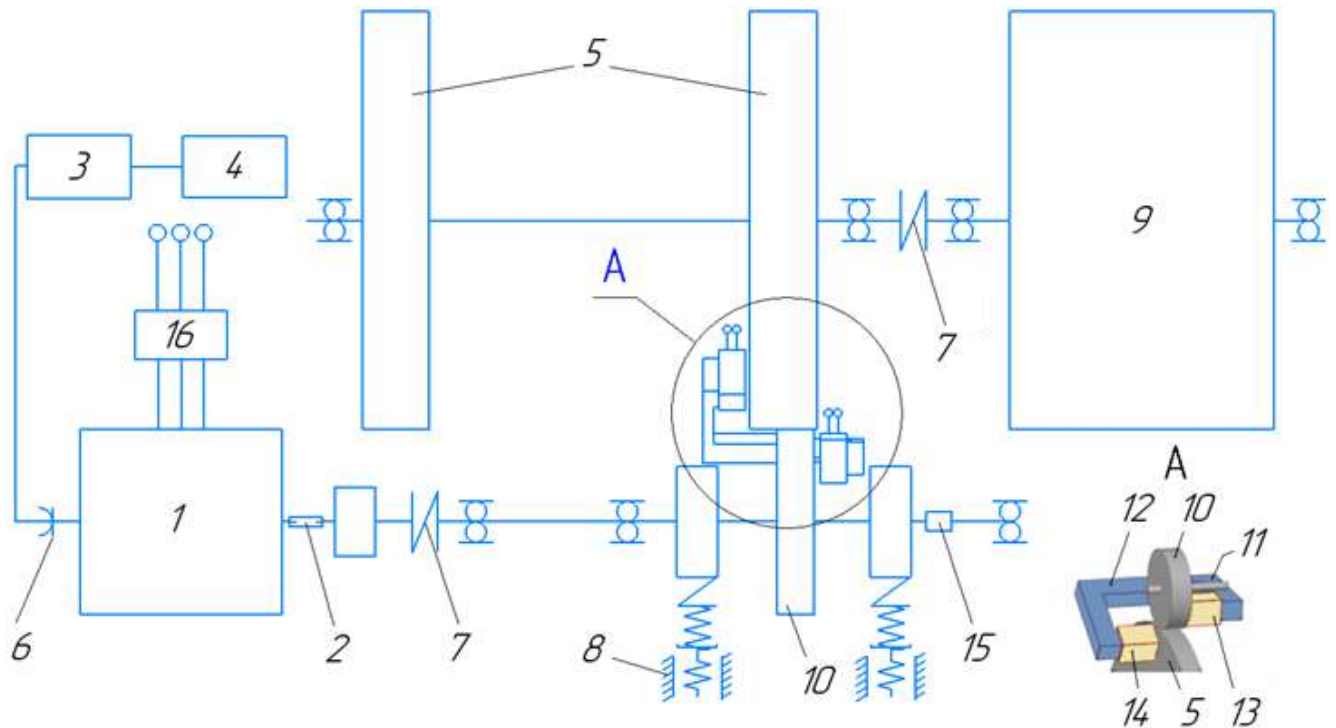


Рисунок 2.10 – Детализовка разработанных элементов в программном комплексе ASCON Kompas 3D

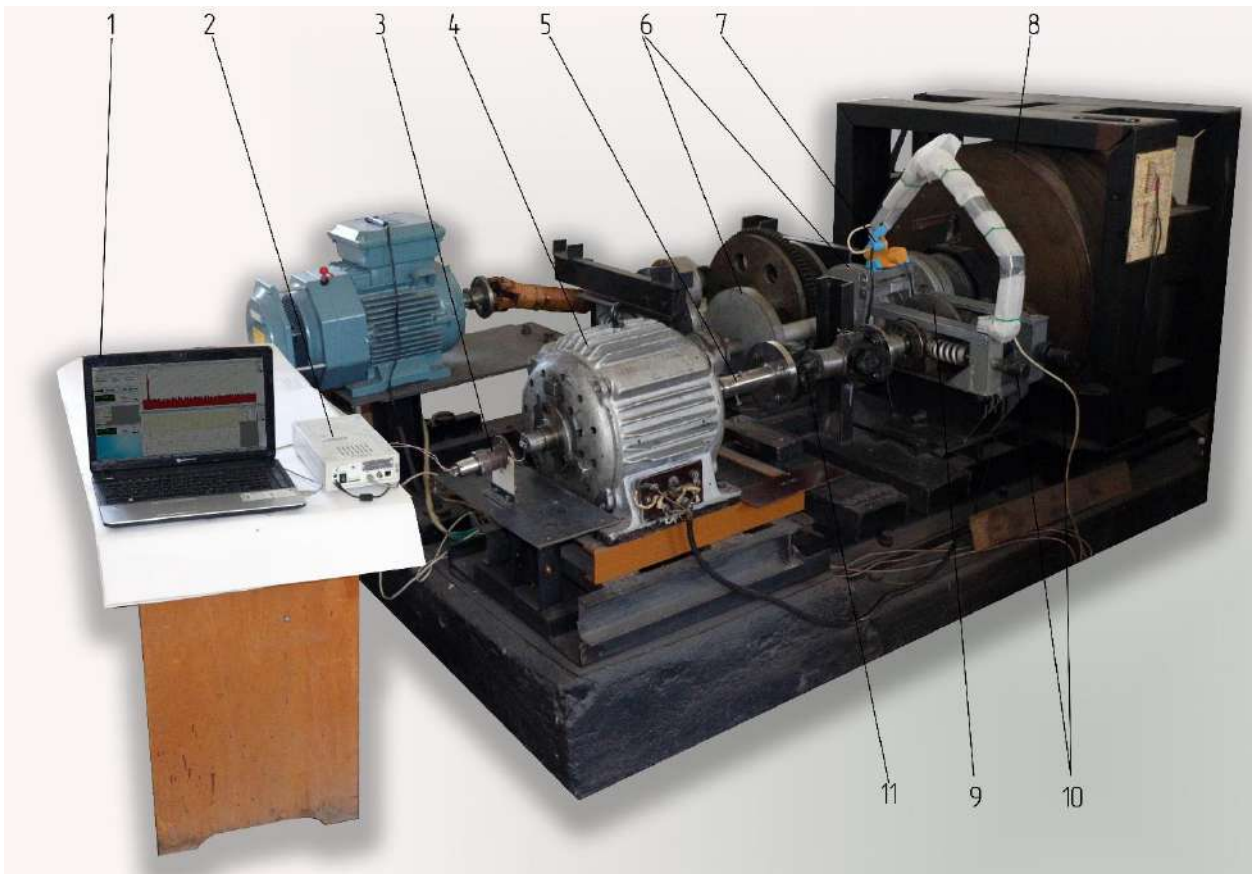
В соответствии с рисунком 2.9 прецизионный позиционер изготовлен методом трехмерной печати на принтере *Longer LK4 Pro* из ABS пластика при шаге печати 0,2 мм и 70 % заполнении служащий для перемещения устройства намагничивания зоны трения катковой установки по оси X, немагнитная проставка 3 служит для соединения регулировочного устройства и магнитопровода, а также для вращения магнитопровода вокруг оси X.

Выполнив поиск рациональной конструкции намагничивающего устройства и всех конструктивных особенностей дополнительного оборудования, были выполнены шаги по модернизации стенда, после чего была составлена структурная схема механической части модернизированного стенда (рисунок 2.11).



1 – тяговый электродвигатель двигатель; 2 – тензорезисторы на валу двигателя;
 3 – анализатор спектра; 4 – ЭВМ; 5 – каток; 6 – концевой токосъёмник;
 7 – упругая муфта; 8 – прижимное винтовое устройство;
 9 – маховик; 10 – колесо колёсной пары; 11, 12 – поворотный магнитопровод;
 13, 14 – обмотки индуктора; 15 – датчик скорости; 16 – преобразователь частоты
Рисунок 2.11 – Структурная схема механической части модернизированного стенда

Общий вид модернизированной механической части стенда представлен на рисунке 2.12.



*1 – ЭВМ; 2 – анализатор спектра; 3 – концевой токосъёмник;
4 – асинхронный двигатель; 5 – тензорезисторы на валу двигателя; 6 – каток; 7 – устройство намагничивания зоны контакта катковой установки;
8 – маховик; 9 – колесо колёсной пары; 10 – прижимное винтовое устройство;
11 – упругая муфта*

Рисунок 2.12 – Общий вид модернизированного стенда

Модернизированная конструкция стенда позволила провести экспериментальные исследования по оказываемому влиянию магнитного поля на коэффициент трения

2.3 Методика проведения эксперимента

В соответствии со структурной схемой (рисунок 2.11) перед проведением стендовых испытаний выполнена тарировка тензорезистора 2.

При следующем шаге включаем измерительную аппаратуру 3 и 4, устанавливаем необходимую нагрузку колеса на рельс с помощью прижимного винтового устройства 8. Подаем питание от преобразователя частоты 16. Выставляем необходимую скорость вращения, определяемую с помощью датчика

скорости 15. При заданной частоте вращения выполняется измерение момента на валу тягового электродвигателя.

На следующем шаге происходит подача напряжения на обмотки индукторов 13 и 14 в соответствии с условиями эксперимента, выполняем снятие показаний момента на валу тягового электродвигателя при действии магнитного поля в зоне контакта катков 5 и 10.

Выполнены серии экспериментов с различными величинами напряженности магнитного поля $10 \cdot W$, $20 \cdot W$ и $30 \cdot W$ и с различными частотами вращения n .

Все серии экспериментов имели продолжительность по 3 мин. Все данные, поступающие от тензорезисторов 2 с помощью торцевого токосъёмника 6, передаются на анализатор спектра 3.

Сигнал, поступающий с концевого токосъёмника 6 через вход *ICP* на усилитель с управляемым на программном уровне коэффициентом усиления, определяющим границы измерений. Между аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и усилителем установлен фильтр низких частот (ФНЧ), исключающий перекрытия спектров при дискретизации (антиалайзинговый фильтр).

Далее с помощью 16-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сигнал оцифровывается и передается в сигнальный процессор, а тот, в свою очередь, производит сохранение данных во внутренней памяти, после чего передаёт контроллеру *USB* связывающего анализатор спектра с компьютером 4. Изменение коэффициента трения $\psi_{тр}$ в контакте катков 5 и 10 получаем как отношение моментов на валу тягового электродвигателя без действия электромагнитного поля в зоне контакта и с его наличием M/M_m

Последовательность выполнения стендовых испытаний представлена блок-схемой (рисунок 2.13).

При выполнении стендовых испытаний на модернизированной стендовой установке (рисунок 2.11) для снятия и обработки показаний использован программный комплекс *ZETLab*, включающий в себя анализатор спектра модели А17-Т8 ТУ 6683-017-23516373-02, у которого входные каналы соединены

с концевым токосъёмником 6, а выходные с персональной электронной вычислительной машиной (ЭВМ) 4.

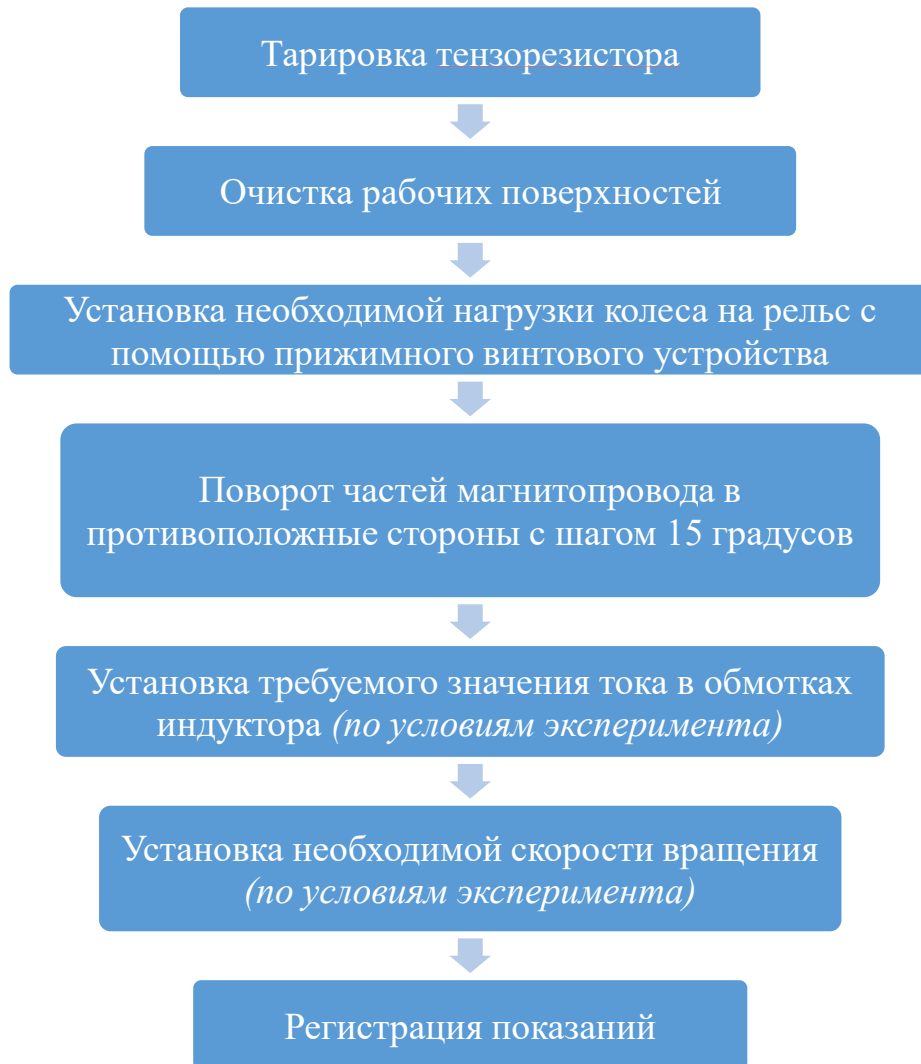
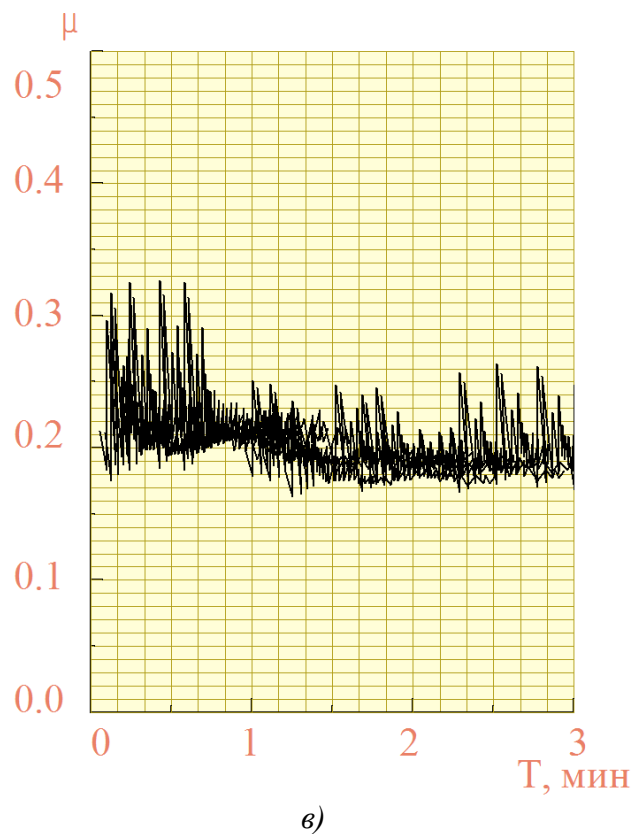
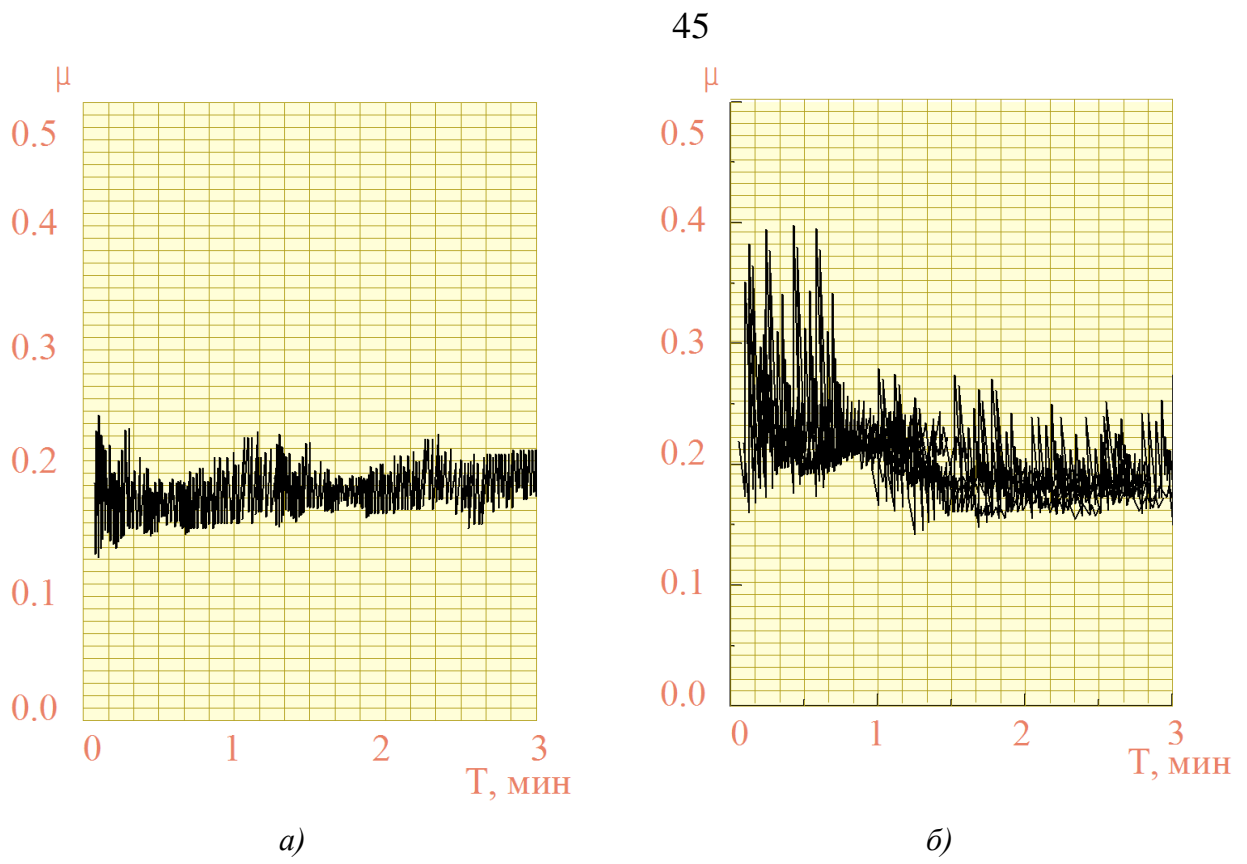


Рисунок 2.13 – Последовательность выполнения эксперимента

После проведения серии стендовых испытаний с использованием программного комплекса, поставляемого в комплекте с анализатором спектра 3, получены зависимости коэффициента трения от времени, представленные на рисунке 2.13, а также получены результаты влияния скорости вращения на коэффициент сцепления в пятне контакта катков, находящихся под воздействием магнитного поля, и влияние напряженности магнитного поля на коэффициент сцепления, представленные на рисунках 2.14 и 2.15 соответственно.



а – без действия магнитного поля; б – воздействие магнитного поля на зону контакта;
 в – после воздействия магнитного поля на зону контакта колеса с рельсом

Рисунок. 2.13 – Зависимость коэффициента трения от времени

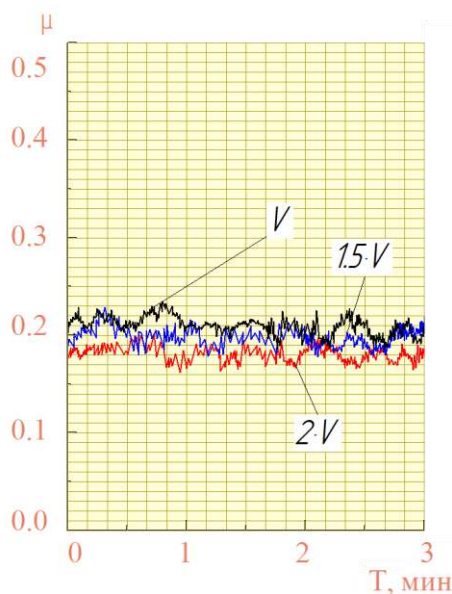


Рисунок 2.14 – Влияние скорости вращения V на коэффициент сцепления

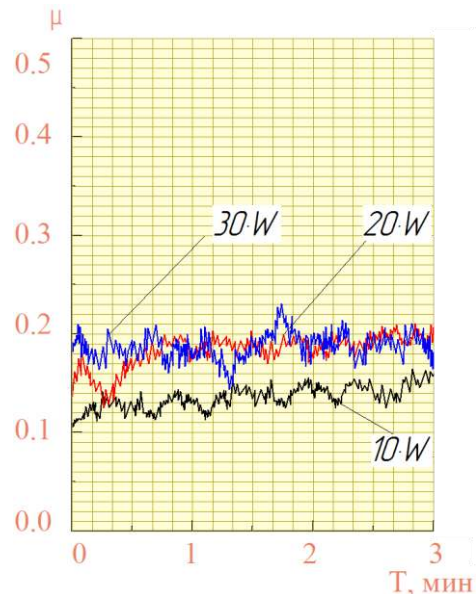


Рисунок 2.15 – Влияние напряженности W магнитного поля на коэффициент сцепления

Как наглядно видно из полученных зависимостей при рациональном размещении намагничивающего устройства, происходит увеличение коэффициента трения:

– для варианта с воздействием магнитного поля на зону контакта (рисунок 2.13, б) максимальное увеличение коэффициента трения было зафиксировано в 1,7 раз;

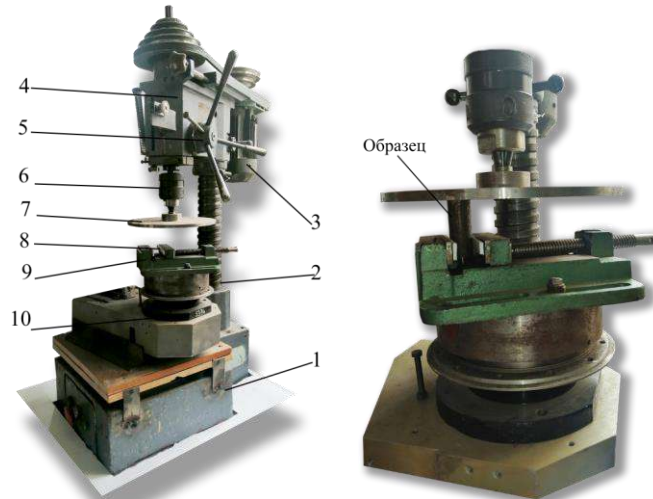
– для варианта после выключения намагничивающего устройства (рисунок 2.13, в), характерно возрастание коэффициента трения в 1,4 раза.

В работе [74] проведён анализ работ научной литературы, в результате которого установлено, что при обработке сталей магнитным полем происходит повышение износостойкости трущихся деталей, а в определенных условиях повышение износостойкости увеличивается в 2-3 раза. Этот эффект поясняется увеличением теплопроводности сталей и наиболее высокой скоростью отвода тепла при наличии охлаждения жидкими средами для трущихся поверхностей деталей – повышением адгезионных свойств смазочных материалов на металлические поверхности [75, 76].

В работе [77] автором выдвинуто предположение магнитоэластического упрочнения, магнитно-дисперсионное твердение сталей, помимо этого, изменение

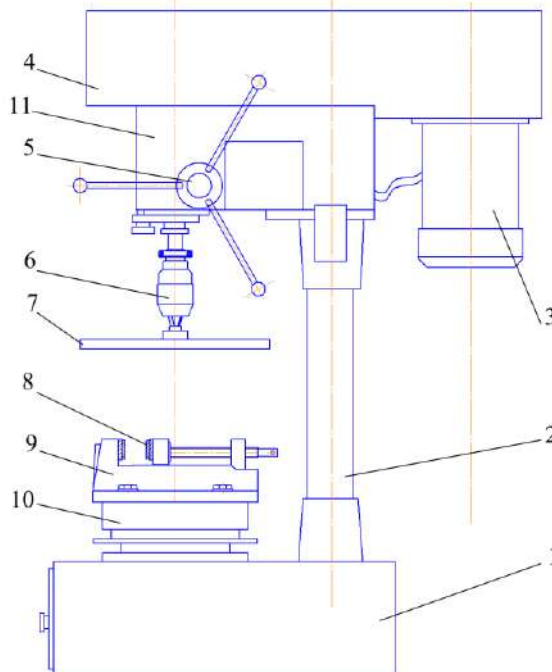
дислокационной структуры, для проверки этих эффектов было принято решение провести исследование по влиянию магнитного поля на ферромагнитные образцы.

Для определения характеристик ферромагнитных образцов при воздействии магнитного поля была модернизирована установка трения, реализованная на платформе настольного сверлильного станка (рисунок 2.16)



1 – плита; 2 – стойка; 3 – электродвигатель; 4 – траверса; 5 – ручка перемещения пиноли;
6 – патрон; 7 – диск трения; 8 – немагнитная проставка; 9 – тиски;
10 – нижний опорный диск

Рисунок 2.16 – Общий вид модернизированной установки трения для исследования поверхностных испытаний ферромагнитных образцов



1 – плита; 2 – стойка; 3 – электродвигатель; 4 – кожух ременной передачи;
5 – ручка перемещения пиноли; 6 – патрон; 7 – диск трения; 8 – немагнитная проставка;
9 – тиски; 10 – нижний опорный диск; 11 – траверса

Рисунок 2.17 – Структурная схема модернизированной установки трения для исследования поверхностных испытаний ферромагнитных образцов

За основу устройства взята конструкция сверлильного станка. В патрон вращения сверлильного станка зажат диск трения. Образцы фиксируются с помощью тисков через немагнитные проставки.

2.4 Процедура подготовки образцов для лабораторных исследований

Для проведения лабораторных исследований по оценке влияния магнитного поля на площадь контакта колеса с рельсом необходимо изучить структуру металла до и после намагничивания, для этих целей потребовалось подготовить образцы.

Для изготовления образцов потребовалось выполнить распил заготовок, процедура распила была выполнена в лаборатории кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Брянского государственного технического университета с использованием портативной ленточной пилы *Femi NG120xl* (рисунок 2.18) при помощи В.С. Селифонова.



Рисунок 2.18 – Портативная ленточная пила Femi NG120xl

Полученные образцы изображены на рисунке 2.19



Рисунок 2.19 – Образцы

Все заготавливаемые образцы прошли несколько этапов обработки, от резки до полировки. После получения черновых заготовок образцов потребовалась выполнить подготовку поверхности трения.

2.4.1 Подготовка поверхности зоны трения

На следующем этапе нам было необходимо выполнить горячую запрессовку полученных образцов при помощи фенольного термоусадочного состава с черным древесным наполнителем для заполнения и фиксации образцов. В качестве материала использовался термоусадочный состав *Aka-Resin Phenolic id:8060* (рисунок 2.20)



Рисунок 2.20 – Фенольный термоусадочный состава *Aka-Resin Phenolic id:8060*

Для запрессовки использовался пневмогидравлический пресс *IPA 40* автоматический, изображенный на рисунке 2.21.



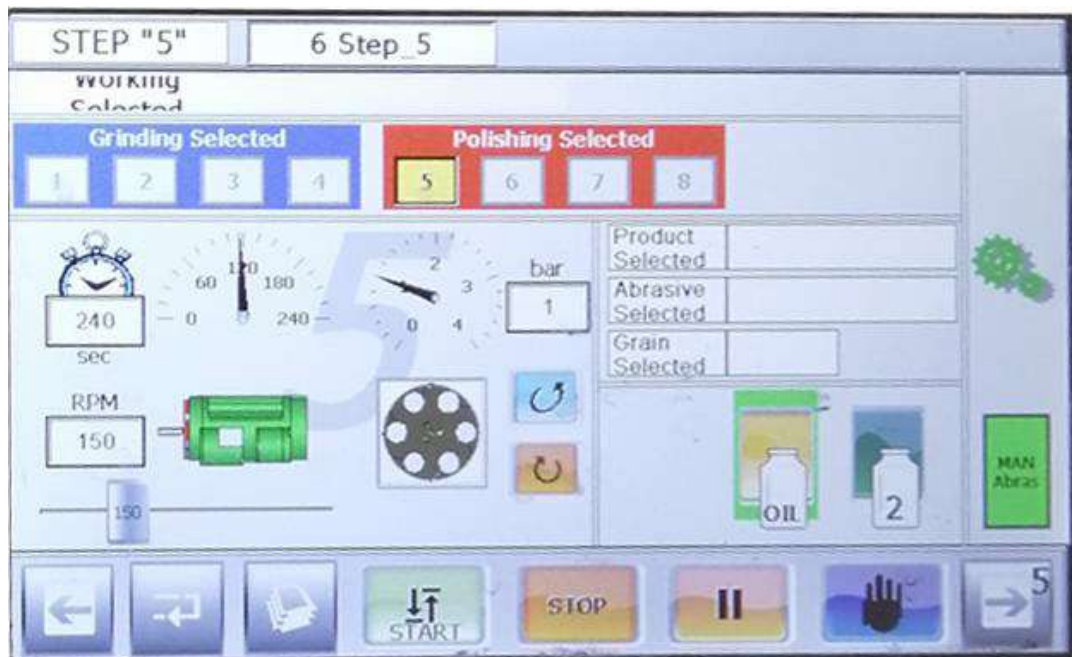
Рисунок 2.21 – Пневмо-гидравлический пресс IPA 40 автоматический

Шлифовка и полировка выполнена в несколько этапов на шлифовально-полировальном станке Remet Compumet рисунок 2.22.



Рисунок 2.22 – Шлифовально-полировальный станок Remet Compumet

Заданные параметры обработки образцов на шлифовально-полировальном станке представлены на рисунке 2.23.



- скорость вращения 150 об/мин;
- давление на образец 1 атм;
- длительность шага обработки 240 сек;
- вращение держателя по часовой стрелке

Рисунок 2.23 – Параметры обработки образцов на шлифовально-полировальном станке

Всего выполнено 10 этапов обработки, на финальном этапе полировка была выполнена на зернистости 3 микрона. При достижении необходимого качества поверхности исследуемых образцов стало возможным приступить к исследованию структуры образцов.

2.4.2 Исследование структуры поверхности образцов

На базе Брянского государственного технического университета выполнено исследование микроструктуры полученных образцов в лаборатории сканирующей микроскопии, ориентированной на решение большого ряда задач, а именно сбора, обработки, передачи полученных данных [78].

В лаборатории сканирующей микроскопии кафедры «Компьютерные технологии и системы» БГТУ были получены структурные снимки поверхностей трения образцов с помощью оптического микроскопа *LEICA DMIRM* (рисунок 2.24). Автор благодарит Р.А. Филипова за предоставление возможности воспользоваться оптическим микроскопом.



Рисунок 2.24 – Микроскоп исследовательский Leica DM

Микроскоп исследовательский для тестирования материалов *Leica DM* предназначен для измерения расстояний, размеров гранул и других деталей структуры, наблюдаемых на изображении при анализе микроструктуры металлов и других материалов.

Снимки структуры образцов исходных и образцов после обработки магнитным полем представлены на рисунках 2.25 и 2.26.



Образец №1



Образец №2



Образец №3



Образец №4

Рисунок 2.25 – Структура образцов до обработки магнитным полем

Образец №1



Образец №2



Образец №3



Образец №4

Рисунок 2.26 – Структура образцов после обработки магнитным полем

При сравнении поверхностей образцов до и после обработки магнитным полем наглядно заметно изменение структуры поверхности, что, в свою очередь, обусловлено перемещением дефектов кристаллической решётки.

2.4.3 Измерения параметров шероховатости

На всех образцах были выполнены измерения параметров шероховатости при помощи *USB* Профилографа-профилометра БВ-7669М (рисунок 2.27).



Рисунок 2.27 – *USB* Профилограф-профилометр БВ-7669М

Выполнив измерение шероховатости образцов, не подвергшихся обработке магнитным полем, и образцов, которые подвергались обработке магнитным полем, были получены результаты, представленные на рисунке 2.28 и рисунке 2.29 соответственно.

Условия измерения шероховатости на профилограф-профилометре БВ - 7669М представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – параметры профилограф-профилометра БВ - 7669М

Фильтр	Баз. Длина (λc), мм	$\lambda c / \lambda s$	Длина оценки		Уровень сечения профиля, %
			$x \lambda c$	мм	
<i>Gauss (M1)</i>	0,08	30	5(5)	0,40	50

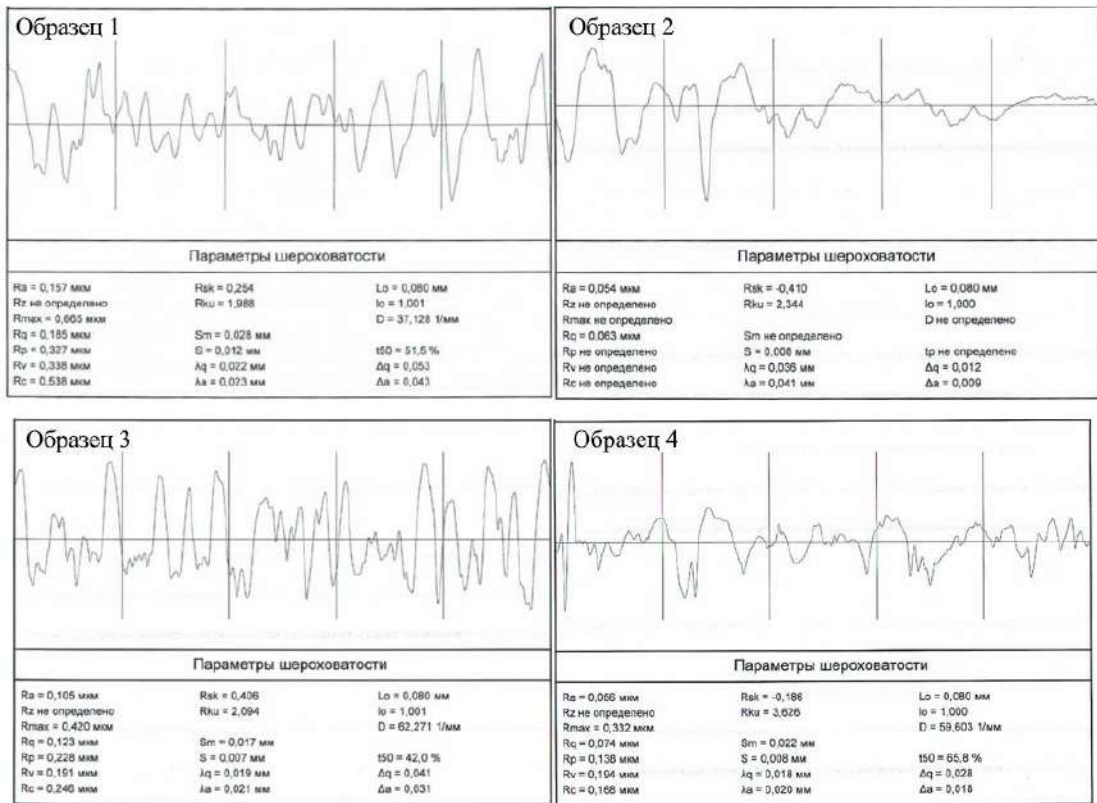


Рисунок 2.28 – Результаты измерения параметров шероховатости образцов до обработки магнитным полем

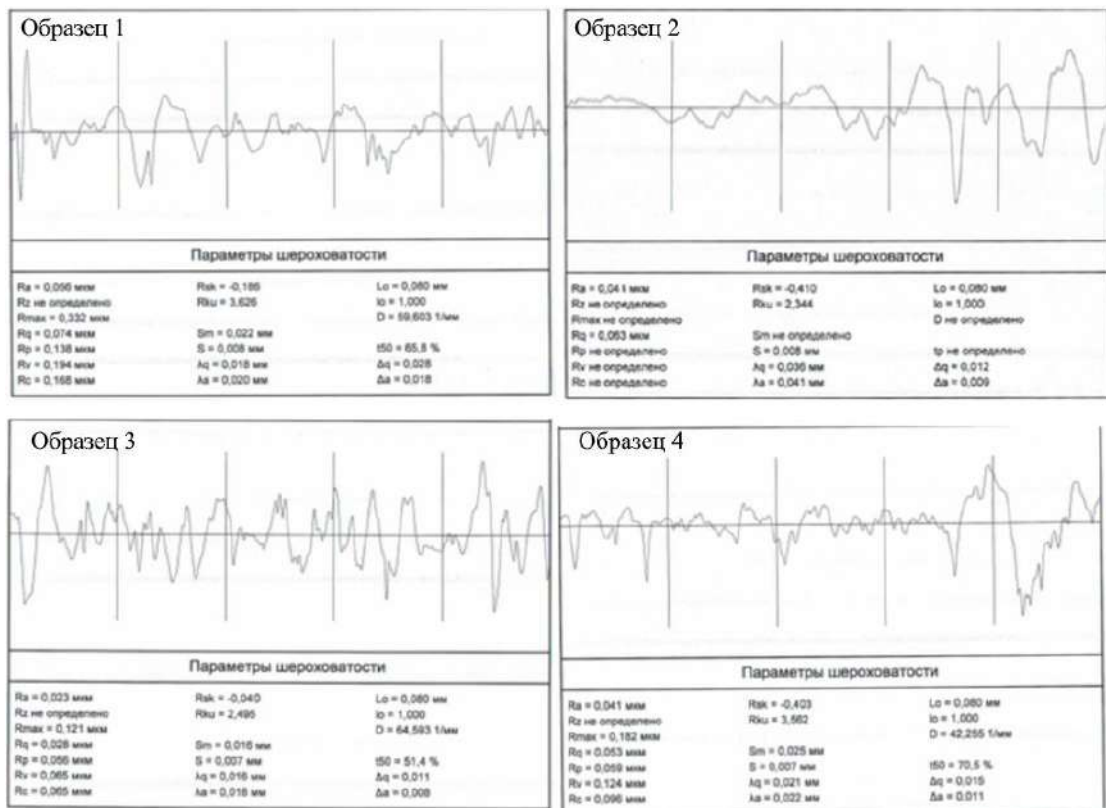


Рисунок 2.29 – Результаты измерения параметров шероховатости образцов после обработки магнитным полем

Сравнение результатов шероховатости (ПРИЛОЖЕНИЕ В) до и после намагничивания позволяет сделать заключение о том, что образцы, которые подвергались воздействию магнитного поля, имеют наименьшую шероховатость, в целом можно сказать, что при воздействии магнитным полем на опытные образцы в них происходит модификация спинового состояния системы. Дислокации, в свою очередь, открепляются от точечного дефекта и меняют своё положение перемещением ближе к поверхности металла.

Механические свойства при обработке магнитным полем изменяются, что объясняется изменением структуры металлов, в свою очередь, дефекты кристаллической структуры оказывают значительное влияние на свойства металлов. С этой целью необходимо рассмотреть вариант, как будут вести себя дислокации при действии на них магнитного поля. Кристаллические эффекты вызывают упругие искажения структуры, вследствие чего появляются внутренние упругие напряжения.

Эффект магнитострикции следует относить к магнитным эффектам четным вида, в связи с тем, что она не зависима от знака магнитного поля. В соответствии с особенностями четных эффектов, которые были сформулированы А.Ю. Акуловым, изменение геометрических параметров ферромагнетика при обработке магнитным полем происходит главным образом в зависимости от изменения результирующей намагниченности. При исследовании взаимной связи магнитных и механических моментов микрочастиц обнаружены группы магнитомеханических явлений. При увеличении количества движения микрочастиц, из которых состоит физическое тело, у образца возникают дополнительные магнитные моменты, а при обработке магнитным полем у образца приобретает дополнительный механический момент. В то время дислокационное изменение металлической структуры вызвано увеличением суммарного момента количества движущихся микрочастиц.

При проведении исследований использовалась модель, в которой сохраняется постоянная скорость дислокации, а общая энергия выступает в роли переменной.

При рассмотрении варианта, в котором ко всем соударяющимся частицам прилагается сила, соответствующая по величине, но противоположная по своему направлению их взаимодействию, вследствие этого их скорость не изменяется, а суммарная энергия изменяется. Проведение теоретических исследований позволило получить зависимости, которые дали возможность установить определяющие значения для винтовых, а также краевых дислокаций.

Полученные зависимости можно использовать при определении эффективности воздействия энергии магнитного поля на перемену характеристик металла при перемагничивании.

2.5 Выводы по разделу 2

1. Усовершенствованная конструкция стенда позволяет приблизить условия проведения эксперимента к реальным условиям эксплуатации подвижного состава, а также выделить влияние отдельных факторов на сцепление в системе «колесо-рельс».

2. Разработанное устройство позволяет исследовать влияние магнитных полей на коэффициент трения. Изменением положения магнитопроводов возможно осуществлять изменение ориентации вектора магнитного поля, при этом зона трения катков намагничивается в поперечном и продольном направлениях.

3. Результаты стендовых испытаний можно использовать при разработке и создании противобуксовочных устройств, конструкций магнитных усилителей сцепления и их систем.

3 КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСА ЛОКОМОТИВА С РЕЛЬСОМ

3.1. Классификация магнитных усилителей сцепления

В ходе проведения исследований автором составлена четырехуровневая классификация технических решений для магнитных усилителей коэффициента сцепления [79], схема которой представлена на рисунке 3.1. В процессе составления классификации были использованы различные источники научно-технической информации, в которых были представлены конструктивные особенности известных в настоящее время устройств, способных повышать сцепные свойства контакта «колесо-рельс» при помощи оказываемого воздействия на пятно контакта магнитного поля, другими словами, электромагнитных усилителей сцепления и устройств, способных повысить давление на ось локомотива с использованием создаваемого ими магнитного поля.

Предлагаемая автором классификация основана на четырех уровнях, для каждого из уровней которой присущи определённые аспекты.

На первом уровне разделение основано на физике создаваемого магнитного поля, другими словами, по замкнутому или разомкнутому виду магнитной системы. К замкнутой магнитной системе были отнесены варианты с небольшим воздушным зазором по отношению к размерам ферромагнитных элементов, к разомкнутой системе относились конструктивные исполнения, в которых наибольшая часть магнитного потока проходила по воздуху.

Различать по геометрическим параметрам конструкции магнитных усилителей в предложенной классификации принято на втором уровне, в свою очередь, другими словами, на этом уровне классификация основана на геометрическом расположении электромагнитного индуктора по отношению к колесной паре экипажной части локомотива.

На третьем уровне предложено компоновать варианты усилителей по конструктивным особенностям. На четвертом уровне, в свою очередь, представлены примеры исполнений конструктивных вариантов для всех схем.

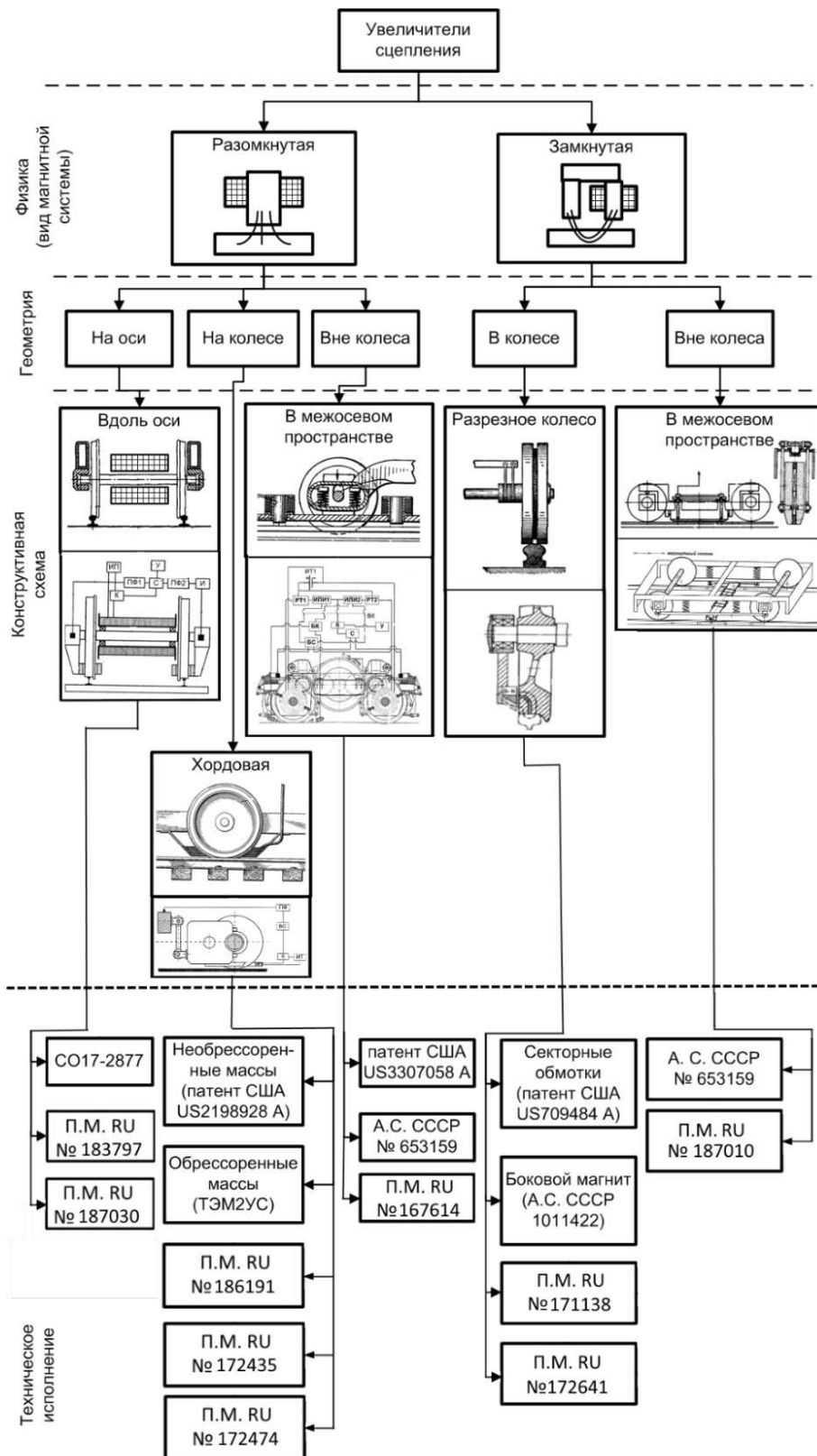


Рисунок 3.1 – Классификация технических решений увеличителей сцепления [79]

В конструктивном варианте открытой она же является разомкнутой системой, где представленный электромагнитный индуктор устанавливается непосредственно на оси колесной пары, была использована система с положениями обмоток соосно с осью. Это, в свою очередь, соответствует расположению обмоток индуктора при установке на КП и дополнительно подвешивается к неподрессоренным массам экипажной части тепловоза. Этот конструктивный вариант был представлен в [80].

При рассмотрении варианта с подвешиванием к поддрессоренным массам экипажной части [81, 82], что соответствует конструктивному варианту расположения вне колеса КП, а именно: расположенном в межосевом пространстве. В этих представленных конструктивных вариантах индукторный блок теоретически размещен как на необрессоренных, так же и на обрессоренных массах экипажной части локомотива.

Для конструктивного варианта с выбором размещения магнитной вставки в колесе колёсной пары его потребуется выполнить разрезным, в разрезе которого располагалась бы обмотка индуктора, данный вариант описан в работе [83]. Для варианта, использующего внешний индуктор, который необходимо разместить с торцевой стороны колесной пары, потребуется обод колеса разделить немагнитной проставкой [84].

При рассмотрении варианта, относящегося к магнитной системе разомкнутого типа, расположение индукторного устройства происходит в экипажной части локомотива [85], но следует отметить отличие в креплении индукторных устройств. Для тягового подвижного состава, применяемого на путях общего назначения и имеющего расчетную скорость, превышающую 100 км/ч, использование вариантов с установкой магнитных индукторов на неподрессоренных элементах экипажной части, вероятнее всего вызовет большие ускорения при прохождении неровностей, ускорения могут достигать нескольких десятков g , тем самым подвергая сомнению как долговечность индукторного устройства, так же и его надёжность. Еще следует отметить, что для хордового расположения индуктора протекающий магнитный поток, необходимый для

повышения коэффициента сцепления, должен быть гораздо больше, но тогда возникает противоречие в уменьшении сопротивления, возникающего при движении, объясняемого вихревыми токами, возникающими в обмотках индукторного устройства при вращении колес локомотива.

3.2 Поиск новых технических решений магнитных усилителей сцепления

Важнейшее место в математическом моделировании естественных производственных процессов, особенно технических, а также технических систем и триботехнических систем, отводится физическим экспериментам. Именно поэтому точность используемых инструментов имеет большое значение для создания соответствующих математических моделей в виде аналитических или физико-статистических зависимостей, так как ошибки или частичная неработоспособность могут исказить значения, полученные в выходных данных, воспроизводящих ход процесса.

Из этого следует, что при выполнении экспериментальных исследований крайне необходимо использовать специализированные аппаратные комплексы, средства их тарировки, необходима отработанная методика, разработанное специализированное математическое и информационное обеспечение, которые дают возможность выполнять диагностирование средств моделирования, для исключения ошибок в выходной информации, которые могут быть вызваны нарушением работоспособности аппаратуры. При проведении машинного эксперимента человек, выполняющий функции оператора, может допустить ошибочные действия. В образовавшихся условиях значительные задачи заключаются в области эргономического снабжения процесса моделирования.

Эти условия являются чисто эмпирическими и не могут дать конкретных требований для определения разумных альтернатив, поскольку существует множество алгоритмов поиска проектных решений. В частности, такие алгоритмы предназначены для использования человеком, и невозможно использовать системы автоматизированного проектирования. В работе [54] метод моделирования не

обладает ограничением для формализации магнитных усилителей коэффициента сцепления, как системы, и дает возможность автоматизировать процесс отнесения детали или узла к определённому классу путем сопоставления признаков. Главной задачей при разработке магнитных усилителей является не столько модернизация существующих решений, сколько создание новых.

Согласно концепции, изложенной в [54], имеется некоторая система. Благодаря наличию отношений между ее элементами (объектами), набор элементов рассматривается как целостное единство, обладающее интегративными свойствами и противостоящее окружению или среде. В качестве среды может выступать система более высокого порядка (надсистема), в которой исследуемая система является лишь элементом. С другой стороны, элементы исследуемой системы могут быть представлены как системы более низкого порядка (подсистемы).

Примерами систем является множество описаний объектов с заданным отношением эквивалентности (принадлежности к одному классу). Это, например, каталог тепловозов, альбом магнитных усилителей Множества классов с заданным отношением иерархии -перечень книг, относящихся к одному и тому же индексу УДК; описания изобретений, относящихся к одному и тому же классу по МКИ или НКИ. Существуют и другие классификации, например, с заданным отношением доминирования – штатное расписание конструкторского бюро и т.д.

Технические системы (технические объекты), как правило, чрезвычайно сложны, вместе с тем на основе декомпозиции можно выделить подсистему, подлежащую «улучшению» – конструкторской проработке. Для всех объектов, подлежащих конструкторской проработке, обязательным условием является то, что каждым из них не выполняется одна или несколько технических функций, заданных техническим заданием.

На первом этапе проектирования выявляются и анализируются известные технические решения-аналоги, выполняющие большинство технических функций, соответствующих техническому заданию.

Причем, очень важно на этапе анализа выбрать из необозримого в общем значительного числа технических решений наиболее подходящие, произвести организованный по определенным правилам отбор некоторой представительной части, именуемой выборкой из генеральной совокупности.

Технические объекты, подлежащие классификации, различаются, прежде всего, характерными свойствами или состояниями, именуемыми признаками. Значения последних могут измеряться с различной точностью.

В качестве основы для построения объектной модели линейной технической системы [86, 54] выступает таксономия технической системы. Взяв во внимание изложенное ранее, объектная модель технических решений, которая характеризует описание рассматриваемых объектов [87], образующих общую систему, в том числе их атрибуты, операции, а также связь с остальными объектами, характеризует прагматику системы разработки и, в первую очередь, преобразует алгоритмическую модель стадии проектирования в объекты, отражается как на основе [88, 89] классификации и стандартизации элементов и компонентов. Это необходимо для повышения степени автоматизации проектирования. С учетом этого, обобщенная объектная модель образуется из двух частей, другими словами, иерархии различных описаний МУКС с различной степенью схематизации представления и иерархии функциональных взаимодействий между объектами, описываемых как иерархия. На элементном уровне, определяющим функциональный элемент МУКС, используется матрица подобия для поиска похожих объектов в библиотеке (рисунок. 3.2).

Для упрощения используем меру сходства в виде неотрицательной вещественной функции:

$$C(R_i R_j) = \frac{2m(R_i \cap R_j)}{m(R_i) + m(R_j)}, \quad 3.1$$

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

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

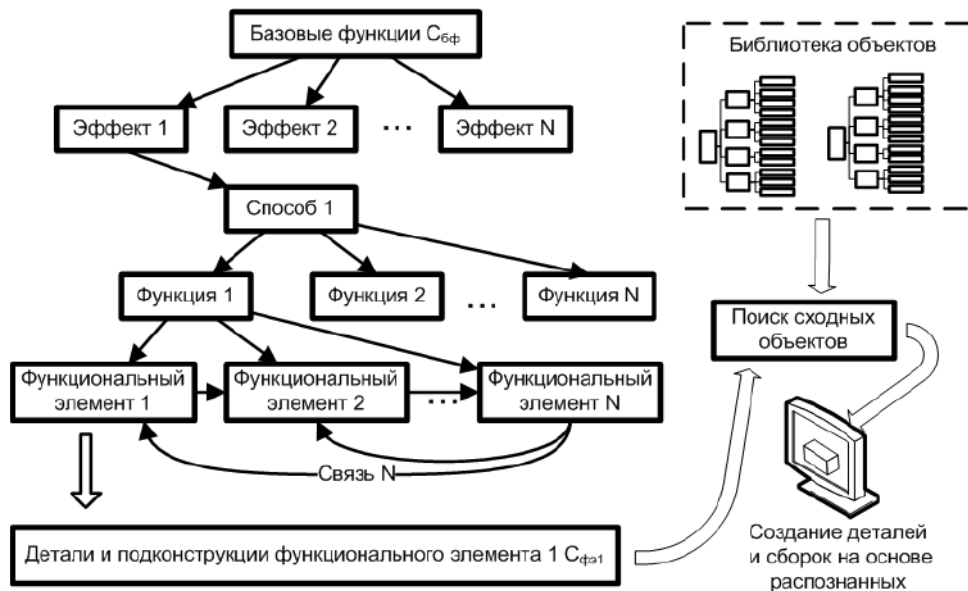


Рисунок 3.2 – Схема обобщенной объектной модели конструкции МУКС [79]

Рассмотрим пример поиска прототипа в библиотеке объектов. Примем R_1 – описание проектируемого МУКС, $R_2 - R_5$ – описание устройств, выступающих в роли прототипов, $S_1 - S_9$ – описывают признаки объектов, на основании данных из таблицы 3.1. При выполнении следующего действия составляются видовые списки (Таблица 3.2). Примем множества $m(R_i)$, $m(R_j)$ – как количество признаков i -го и j -го варианта в видовых списках, множество $m(R_i \cap R_j)$ – соответствует количеству признаков, сразу имеющих у i -го и j -го вариантов. Исходя из этого, мера включения множества признаков i -го варианта в j -й:

$$W(R_j; R_i) = \frac{m(R_i \cap R_j)}{m(R_i)}, \quad 3.2$$

а мера включения множества признаков j -го варианта в i -й:

$$W(R_i; R_j) = \frac{m(R_i \cap R_j)}{m(R_j)}. \quad 3.3$$

Взяв в качестве основы (3.2) и (3.3), приступаем к вычислению значений элементов матрицы мер включения (таблица 3.3), не забывая округлять полученные значения до целых чисел.

Элемент матрицы мер пересечения (таблица 3.4) в i -й строке и j -м столбце есть $m(R_i \cap R_j)$, отсюда $m(R_i \cap R_i) = m(R_i)$. Элементы матрицы мер сходства

(Таблица 3.5) вычислены по формуле (3.1). Пример: для вариантов R_1 и R_2 число видов в описаниях признаков $m(R_1) = 3, m(R_2) = 3, m(R_1 \cap R_2) = 2$.

В таблице 3.1 описаны признаки условного проектируемого варианта магнитного усилителя и ряда известных созданных конструкций. В таблице 3.2 представлены списки видов на основе описаний признаков, где 1 – наличие признака, 0 – его отсутствие для данного варианта усилителя.

Таблица 3.1 – Признаки вариантов устройства для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами

	Проект R_1	US 3307058 R_2	СССР № 1286453 R_3	US 2198928 А R_4	РФ № 2055748 R_5
1	2	3	4	5	6
S_1	_____	магнит	магнит	_____	_____
S_2	_____	_____	гидроцилиндр	_____	_____
S_3	Источник питания	Источник питания		Источник питания	Источник питания
S_4	_____	_____	датчики усилий	_____	_____
S_5	_____	_____	траверса	_____	_____
S_6	Колесо колесной пары	Колесо колесной пары	_____	Колесо колесной пары	Колесо колесной пары
S_7	катушка	_____	_____	катушка	катушка
S_8	подшипник	_____	_____	_____	подшипник
S_9	редуктор	_____	_____	_____	_____

Таблица 3.2 – Видовые списки и матрицы мер

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
S_1	0	1	1	0	0
S_2	0	0	1	0	0
S_3	1	1	0	1	1
S_4	0	0	1	0	0
S_5	0	0	1	0	0
S_6	1	1	0	1	1
S_7	1	0	0	1	1
S_8	1	0	0	0	1
S_9	1	0	0	0	0

Далее используем данные таблицы 3.1 и таблицы 3.2 вычисляем значения элементов матрицы мер включения (таблица 3.3), в процентах, округляя полученные значения до целых чисел.

Вторая строка первый столбец таблицы 3.3:

$$W(R_2; R_1) = \frac{m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1)} = \frac{2}{5} = 40\%. \quad 3.4$$

Пятая строка второй столбец таблицы 3.3:

$$W(R_5; R_1) = \frac{m(R_1 \cap R_5)}{m(R_1)} = \frac{4}{5} = 80\%. \quad 3.5$$

Таблица 3.3 – Матрица мер включения

	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
R ₁		67	0	100	100
R ₂	40		25	67	50
R ₃	0	34		0	0
R ₄	60	67	0		75
R ₅	80	67	0	100	

Элементы матрицы мер пересечения представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Матрица мер пересечения

R ₁	5				
R ₂	2	3			
R ₃	0	1	4		
R ₄	3	2	0	3	
R ₅	4	2	0	3	4
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅

Соответственно, в таблице 3.4 первая строка $m(R_1) = 5$, вторая строка первый столбец $m(R_1 \cap R_2) = 3$, вторая строка второй столбец $m(R_2) = 3$, а в таблице 3.5:

$$C(R_1 R_2) = \frac{2m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1) + m(R_2)} = \frac{2 \cdot 2}{5 + 3} = \frac{4}{8} = 50\%. \quad 3.6$$

Далее получаем матрицу мер сходства (Таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Матрица мер сходства

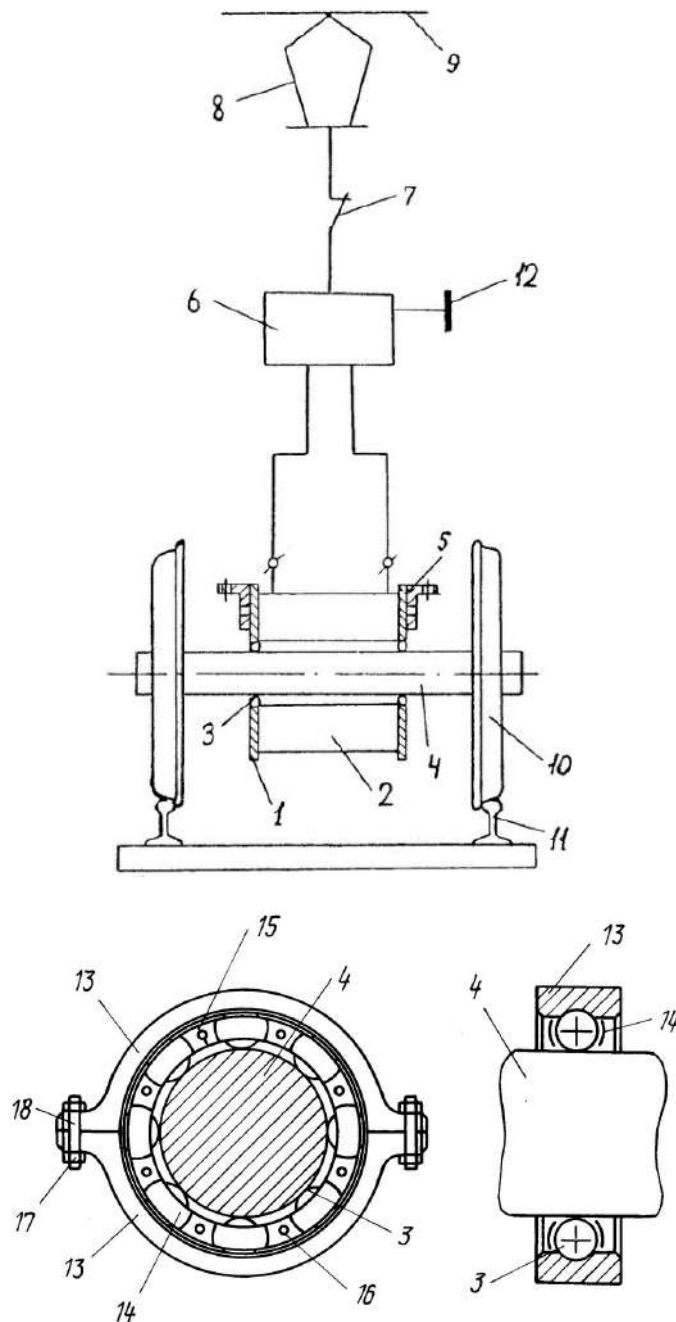
R ₁				
R ₂	50			
R ₃	0	29		
R ₄	75	67	0	
R ₅	89	57	0	86
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄

Как наглядно можно заметить из таблицы 3.5, наибольшее значение находится в первом столбце, который относится к прототипу R_1 , а также в пятой строке R_5 . С учётом полученного делаем вывод, что максимально близким к создаваемому устройству оказалось устройство, повышающее сцепление (рисунок 3.3), выбранное как прототип.

Недостаток прототипа состоит в том, что при использовании его на тележке грузового электровоза с опорно-осевым приводом указанное устройство имеет низкую эффективность, поскольку часть энергии магнитного потока рассеивается в редукторе и остова тягового электродвигателя.

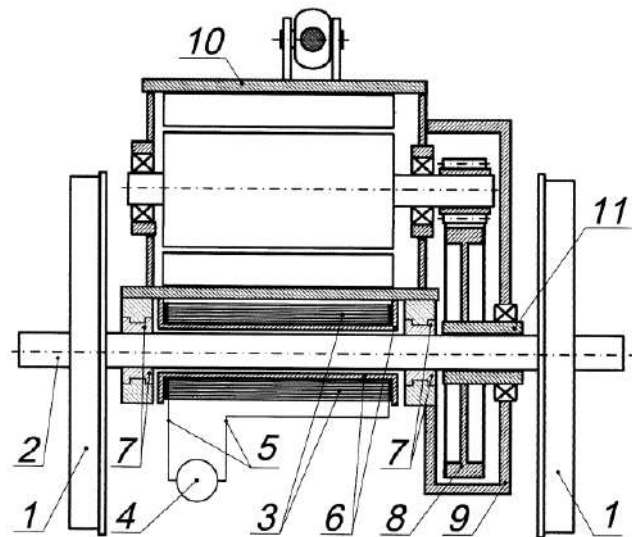
Предлагаемое устройство (рисунок 3.4) для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами [90], содержащее колёсную пару, опирающийся на ось КП тяговый электродвигатель, который опирается в свою очередь с помощью

моторно-осевых подшипников, катушку, у которой обмотка изготовлена из изолированного провода, подключенная к ИП с помощью проводов. Катушка фиксируется на немагнитном каркасе, расположенном соосно с осью КП с зазором, каркас крепится на остове ТЭД между моторно-осевыми подшипниками.



1 – каркас катушки; 2 – обмотка; 3 – подшипники качения; 4 – ось;
 5 – кронштейны; 6 – блок электропитания; 7 – выключатель; 8 – токоприемник;
 9 – контактный провод; 10 – колесо; 11 – рельс; 12 – контакт; 13 – верхнее кольцо;
 14 – сепаратор; 15 – разрез; 16 – заклепка; 17 – болт; 18 – ушки

Рисунок 3.3 – Устройство для увеличения сцепления колесной пары электровоза с рельсами [88]



1 – колесо; 2 – ось; 3 – катушка; 4 – источник питания; 5 – провод; 6 – каркас; 7 – подшипник;
8 – зубчатое колесо; 9 – редуктор; 10 – тяговый двигатель; 11 – втулка

Рисунок 3.4 – Общий вид устройства для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами [90]

Техническим результатом заявленной полезной модели является увеличение силы сцепления ведущих колес локомотива с рельсами при опорно-осевом приводе и эффективности устройства за счет сокращения потерь энергии магнитного потока.

Технико-экономический эффект полученного конструктивного варианта [90] заключается в том, что он представляет собой намагниченную обмотку в виде катушки в устройстве для увеличения сцепления между ведущими колесами локомотива и рельсом, катушка расположена на каркасе из немагнитного материала, который неподвижно зафиксирован на остова ТЭД между моторно-осевыми подшипниками и располагается соосно с осью КП с зазором. Катушка из изолированного провода подсоединена к источнику питания.

Конструкция устройства для увеличения сцепления колес локомотива с рельсами защищена патентом РФ на полезную модель [90].

Рассмотрим задачу изменения противобуксовочных систем, которые повлекут за собой принятие энергосберегающей концепции тягового привода.

Известно, что есть способы, позволяющие оказывать влияние на свойства в зоне контакта «колесо-рельс», в связи с этим появляются новые возможности, в частности, создавать физический коэффициент трения регулируемым, который,

в свою очередь будет гораздо в меньшей степени завесить от случайных факторов, реализуется это с помощью добавления управляемого магнитного усилителя коэффициента сцепления в общую систему контролирования тяги, позволяющего ликвидировать практически все внешние воздействия в контакте трения.

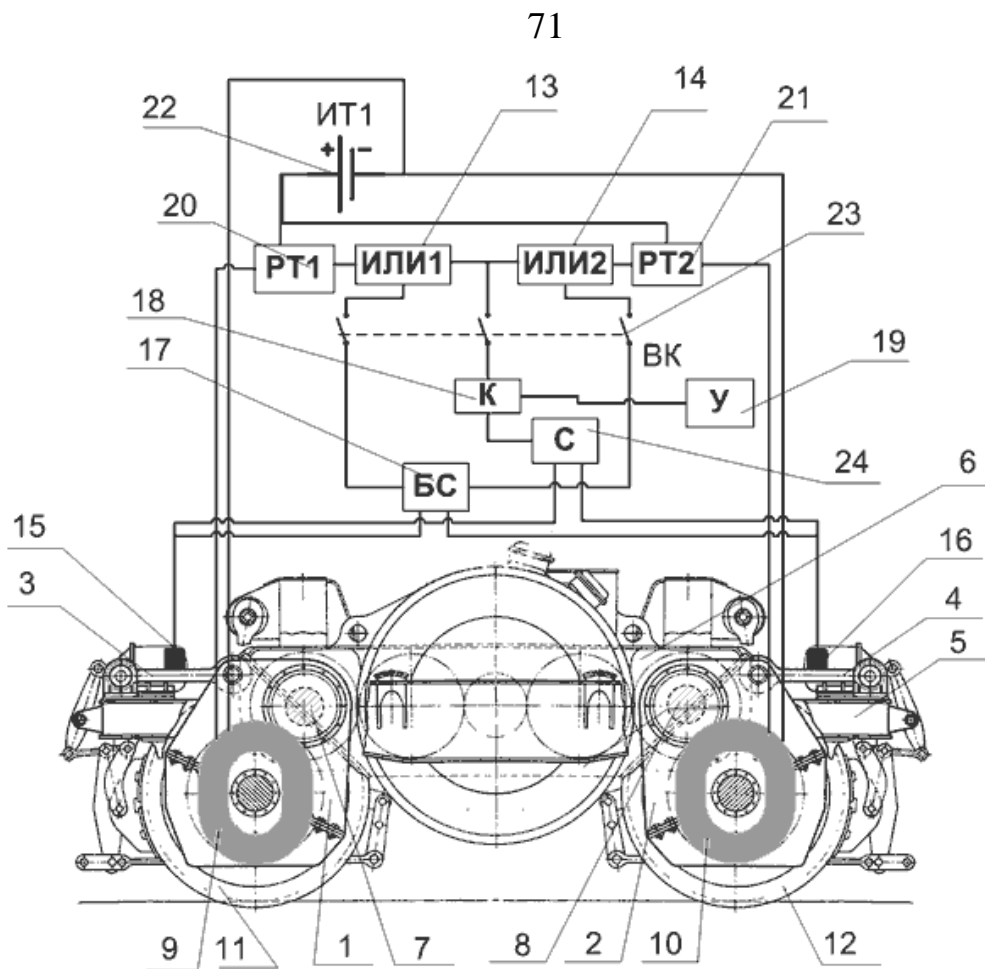
Выделено два направления возможных исследований, которые, на мой взгляд, дают возможность реализовать систему предупреждения буксования в зоне контакта «колесо-рельс». К первому из рассмотренных относится работа П.А. Коропца [91], в ней предложено выбрать как информативный признак для предупреждения начала буксования продольные ускорения буксы.

Второй признак основывается на исследованиях, в которых представлено мгновенное повышение температуры на поверхностях колёс колесных пар. Из результатов натурных испытаний установлено, что на поверхности катания колёс тягового подвижного состава частота смены температуры примерно 500 Гц, в свою очередь, это значительно превышает частную составляющую собственных колебаний экипажной части. Всё сводится к тому, что необходимо проводить регистрацию смены излучаемого инфракрасного потока на определенной поверхности обода колеса колёсной пары и проводить регистрацию таких изменений, дабы не рассматривать колесо колёсной пары в качестве твёрдого тела.

Взяв за основу, представленный анализ ожидается, что в будущем при развитии устройств, противодействующих буксованию, реализовано это будет за счет новых концепций создания тягового усилия тепловоза с учётом воздействия магнитного поля на зону контакта колёс с рельсами, что позволит управлять характеристиками контактируемых поверхностей.

С использованием методики объектного моделирования технических решений получен ряд патентоспособных конструкций, защищённых патентами РФ (ПРИЛОЖЕНИЕ А). Конструкции некоторых противобуксовочных устройств с магнитными усилителями сцепления [92].

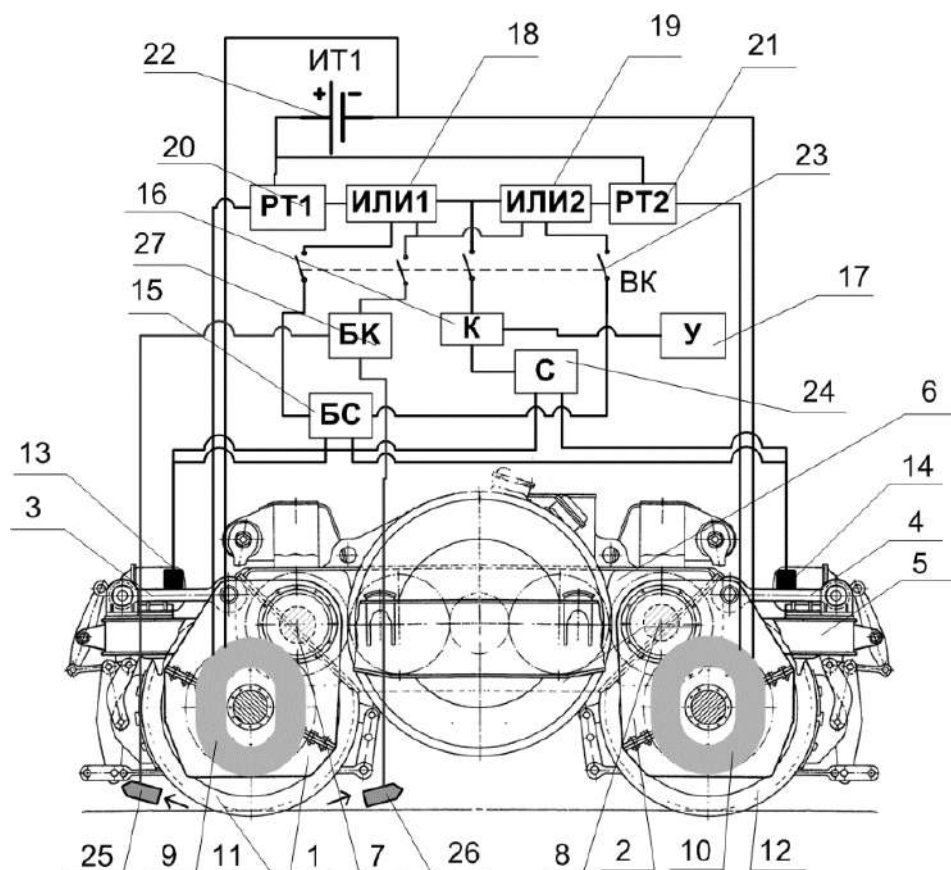
Для группового тягового привода предлагается компоновка тягового привода с МУКС в виде моноmotorного привода двухосной тележки локомотива с рамным и осевыми редукторами (рисунок 3.5).



1, 2 – осевые редукторы; 3, 4 – тяги; 5 – рама тележки; 6 – рамный редуктор;
 7, 8 – карданные валы; 9, 10 – индукторы; 11, 12 – колесные пары; 13, 14 – блоки «ИЛИ»;
 15, 16 – датчики усилия; 17 – блок сравнения; 18 – ключ; 19 – блок установки;
 20, 21 – регуляторы тока; 22 – источник тока; 23 – выключатель; 24 – сумматор;
 25 – рельсовое токосъемное устройство

Рисунок 3.5 – Тяговый привод, интегрированный с системой предотвращения буксования [93]

Недостатком тягового привода (рисунок 3.5) является отсутствие контроля за тепловыделением в месте контакта колеса и рельса. При ухудшении сцепления колеса с рельсом и реализации сил тяги ниже максимальной по условиям нагрева ТЭД возможна ситуация, когда сила тяги реализуется при существенном скольжении колес по рельсу [94], что не обнаруживается системой как вследствие того, что реализуемая сила тяги соответствует заданной, так и вследствие того, что при значительной величине упругого скольжения тяговое усилие на обоих осях в движении будет выравниваться. Высокие значения скольжения могут приводить к росту температуры поверхности колеса и рельса и к снижению их прочности. Данный недостаток устранен в варианте привода рисунок 3.6.



1, 2 – осевые редукторы; 3, 4 – тяги; 5 – рама тележки; 6 – рамный редуктор;
 7, 8 – карданные валы; 9, 10 – индукторы; 11, 12 – колесные пары; 13, 14 – датчики усилия;
 15 – блок сравнения; 16 – ключ; 17 – блок установки; 18, 19 – блоки «ИЛИ»;
 20, 21 – регуляторы тока; 22 – источник тока; 23 – выключатель; 24 – сумматор;
 25, 26 – инфракрасные термометры; 27 – блок контроля; 28, 29 – пары бункеров-сборников;
 30 – магнитопровод; 31 – постоянный магнит; 32 – абразивный порошок; 33 – обмотка
Рисунок 3.6– Усовершенствованный вариант тягового привода, интегрированный с системой предотвращения буксования [95]

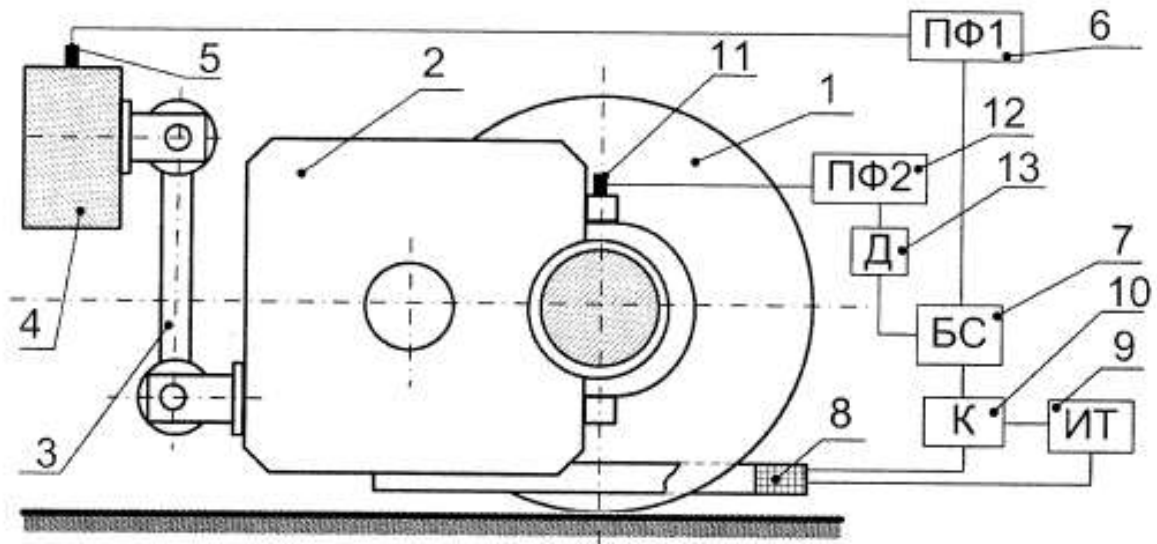
В модернизированной конструкции [95] осевой редуктор соединён с рамой тележки экипажной части при помощи тяг, осевой редуктор при этом связывается с рамным редуктором с помощью карданного вала, индукторы при этом располагаются на колёсных парах локомотива. Система управления в модернизированной конструкции имеет датчик, измеряющий продольную силу, датчик расположен на тяге, помимо этого в такой конструкции имеются блоки уставки и сравнения, источник питания, регулятор тока, ключ и переключатель.

Увеличение коэффициента сцепления колес и рельсов приводит к тому, что колеса больше не скользят по рельсам, тепло, выделяемое в зоне контакта колеса с рельсом, уменьшается, а колеса и рельсы охлаждаются за счет

теплопередачи окружающей среде, в результате чего температура поверхности колес и рельсов становится ниже $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На предложенный вариант устройства получен патент [95].

Эффективность работы МУКС также определяется эффективностью системы обнаружения проскальзывания колеса по рельсу, что отражено в конструктивном варианте, представленном на рисунке 3.7.



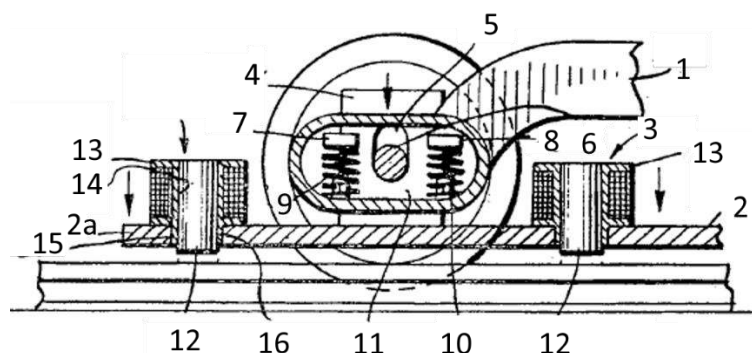
1 – колесная пара; 2 – ТЭД; 3 – подвеска; 4 – рама тележки; 5 – датчик; 6 – полосовой фильтр;
7 – блок сравнения; 8 – электромагнитный индуктор; 9 – источник тока; 10 – ключ;
11 – датчик; 12 – полосовой фильтр; 13 – делитель

Рисунок 3.7 – Устройство предотвращения буксования локомотива [96]

Исходя из физической основы процессов, сопровождающих буксование, можно выделить четыре принципа получения информации о начале буксования:

- по появлению автоколебаний при буксовании;
- по изменению угловых и/или линейных скоростей кинематических звеньев механизма;
- по изменению тягового усилия;
- по выделению энергии в процессе трения колеса по рельсу.

Применение автоколебаний в качестве признака обнаружения буксования использовано в [81] варианте системы предупреждения буксования (рисунок 3.8).



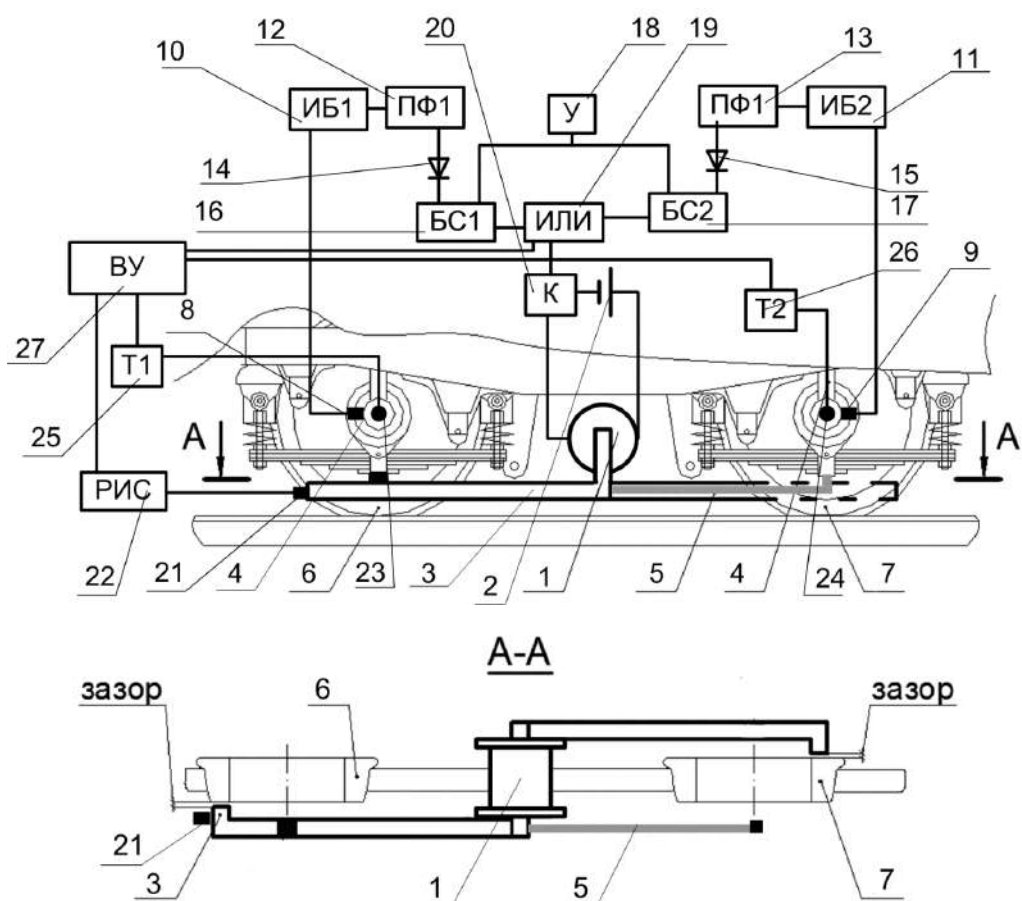
1 – рама передней тележки; 2 – кронштейны крепления электромагнитов;
 2а – концы поддерживающих кронштейнов; 3 – группа электромагнитов;
 4 – вертикальная монтажная пластина; 5 – удлиненный паз; 6 – ось;
 7, 8 – расширение; 9, 10 – пружины; 11 – установка подшипника; 12 – мягкий железный сердечник; 13 – пластиковая втулка; 14 – отверстие; 15 – группа отверстий; 16 – расширение
Рисунок 3.8 – Устройство для увеличения сцепления [81]

Данный вариант системы управления МУКС может быть использован как в индивидуальном приводе, так и в описанном выше групповом, одновременно с системой, действующей по принципу сравнения сил в тягах.

Рассмотрим устройство для увеличения сцепления ведущих колес рельсового локомотива [81], содержащее электромагнит, подключенный к источнику тока и соединенный с балансиром.

Магнитный поток, создаваемый электромагнитами, замыкается через балансир и рельсы, в предложенной конструкции магнитный поток почти не проходит через контактные поверхности колеса и рельса. Поэтому в устройстве не используется в полной мере упомянутый выше эффект увеличения коэффициента трения между колесом и рельсом при прохождении магнитного потока через контактные поверхности колеса и рельса, а в прототипе магнитное насыщение рельса и сердечников электромагнитов ограничивает возможность увеличения силы тяги колеса и рельса. Кроме того, постоянная работа электромагнитов увеличивает сопротивление движению из-за вихревых токов, наводимых магнитным полем в рельсах, что увеличивает расход энергии, необходимой для движения локомотива.

Учитывая данный недостаток, была предложена конструкция устройства, представленная на рисунке 3.9.



- 1 – электромагнит; 2 – источник тока; 3 – балансир; 4 – букса; 5 – немагнитная вставка;
 6, 7 – колесо; 8, 9 – датчик продольных ускорений; 10, 11 – измерительный блок;
 12, 13 – полосовой фильтр; 14, 15 – выпрямитель; 16, 17 – блок сравнения; 18 – блок уставки;
 19 – логический элемент «ИЛИ»; 20 – ключ; 21 – радиолокационный датчик;
 22 – радиолокационный измеритель скорости; 23, 24 – датчик угла поворота;
 25, 26 – электронный тахометр

Рисунок 3.9 – Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами

Предлагаемое устройство (рисунок 3.9) работает следующим образом. Немагнитная вставка предотвращает падение балансира на путь и перекос балансира под действием собственного веса. При движении локомотива возникают продольные ускорения букс, это регистрируется датчиком продольного ускорения, подключенным к входу блока измерения, на выходе которого имеется сигнал, пропорциональный величине продольного ускорения, подаваемого на вход полосовых фильтров, которые выпрямляются выпрямителями и поступают на входы блоков сравнения. На вторые входы блоков сравнения поступает сигнал от блока уставки. На предложенное устройство планируется подача заявки на полезную модель.

Приведенное выше доказывает техническую возможность реализации концепции энергосберегающего тягового привода в виде единой интегрированной системы, включающей в себя механическую систему тягового привода, систему предупреждения буксования и юза и устройств усиления сцепления. Элементы этой системы взаимосвязаны друг с другом и взаимообуславливают рациональный выбор решений друг друга.

Методика формирования патентоспособных решений магнитных усилителей коэффициента сцепления на основе объектной модели технических решений и разработанной классификации конструктивных особенностей магнитных усилителей коэффициента сцепления внедрена и используется предприятием ООО «Дипром» при создании инновационных устройств повышения эффективности и безопасности технических средств железнодорожного транспорта (ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

Объектная модель позволяет относить разрабатываемые конструкции к конкретным классам на основании вычисления степени сходства признаков, что является принципиальным решением задачи распознавания конструкции машиной.

3.3 Варианты расположения магнитных усилителей коэффициента сцепления на экипажной части

В ходе выполнения диссертационной работы был выполнен анализ [97-110] предложенных вариантов конструкций магнитных усилителей коэффициента сцепления. Из представленных в предыдущем пункте был выбран наиболее перспективный и легко реализуемый в настоящее время вариант. Критерии, по которым проходил подбор перспективных конструкций: ремонтпригодность, унификация конструкции, свобода пространства для размещения электромагнита, энергоэффективность, вписывание в габарит (рисунки 3.10-3.12).

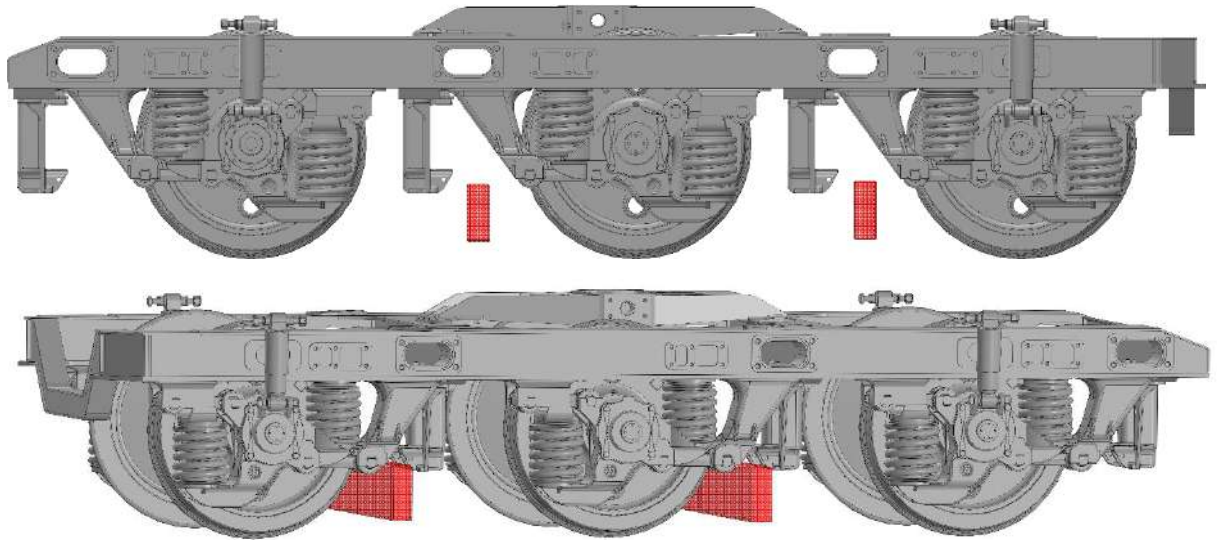


Рисунок 3.10 – Схема расположения индукторов в межосевом пространстве

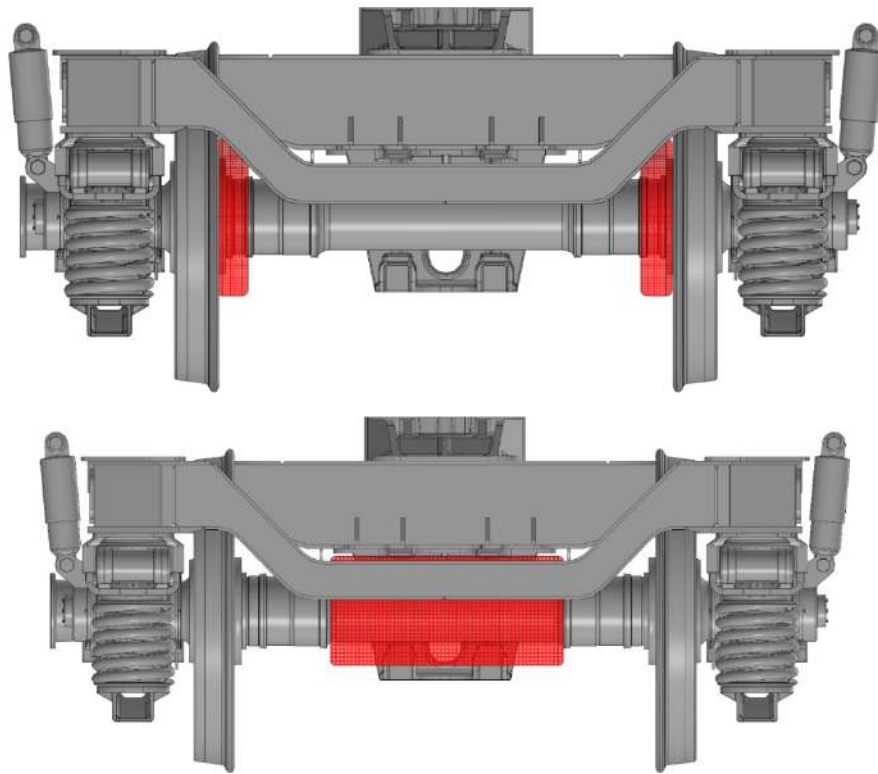


Рисунок 3.11 – Конструктивная схема с расположением индукторов на оси

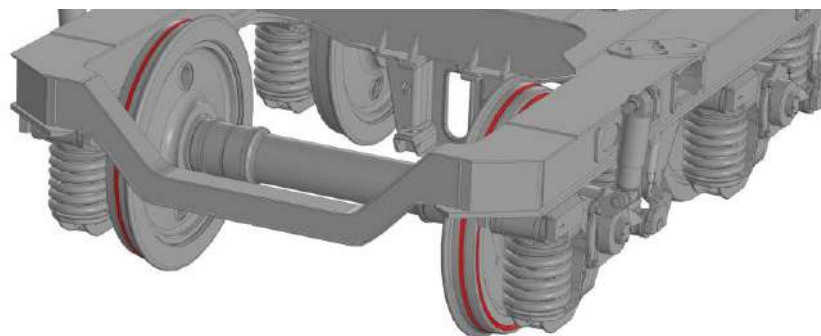


Рисунок 3.12 – Конструктивная схема с использованием разрезного колеса

Выполнив анализ, было принято решение в качестве перспективного варианта выбрать следующее конструктивное исполнение (рисунок 3.13).

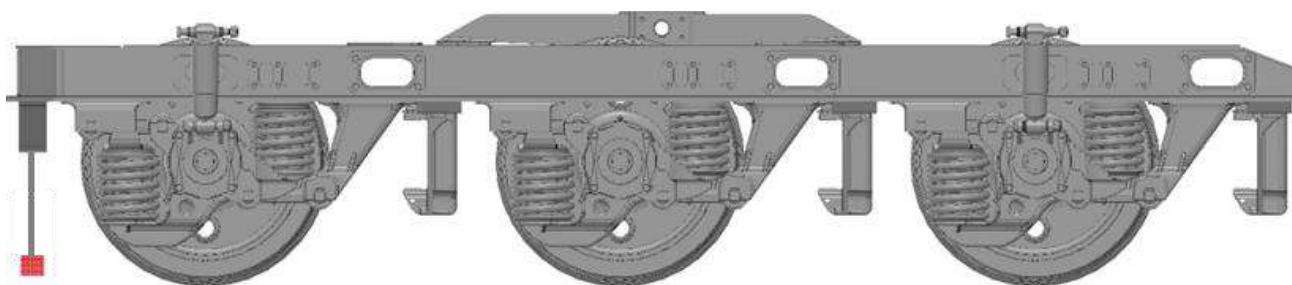
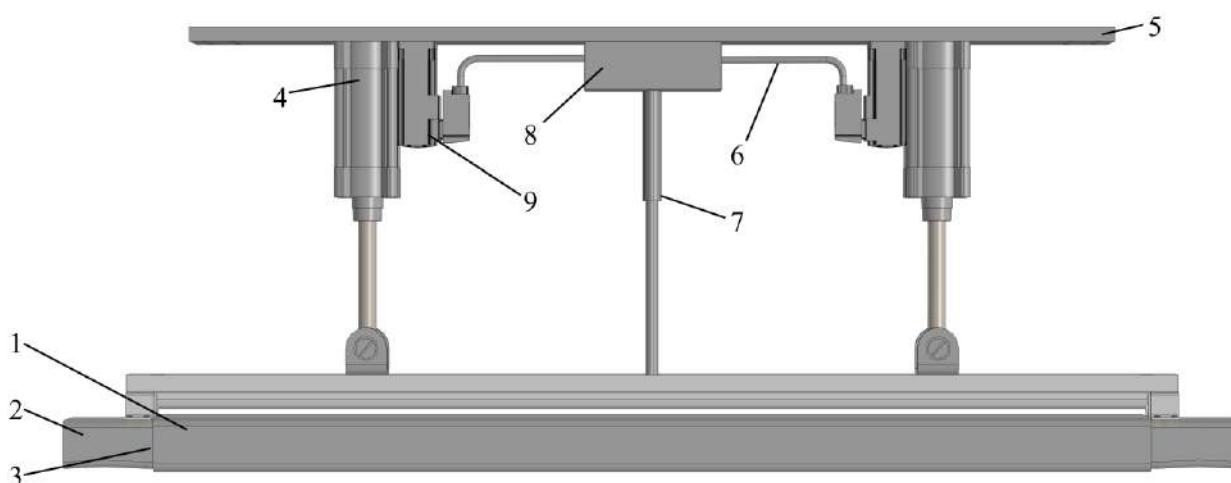


Рисунок 3.13 – Вариант с размещением МУКС перед первой колесной парой по ходу следования

После определения рационального расположения индуктора было проведено его моделирование в комплексе трехмерного программирования *ASCON Компас 3D*.

Конструкция разработанного устройства представлена на рисунке 3.14.



*1 – защитный слой; 2 – сердечник; 3 – обмотка; 4 – сервопривод;
5 – кронштейн крепления к тележке; 6, 7 – кабель-канал; 8 – блок управления;
9 – электродвигатель сервопривода*

Рисунок 3.14 – Устройство увеличения коэффициента сцепления

В качестве подъёмного устройства выбран сервопривод *Casm-32*, работающий совместно с электродвигателем *Siemens* модели *FK*. Общий вид электродвигателя сервопривода представлен на рисунке 3.15.

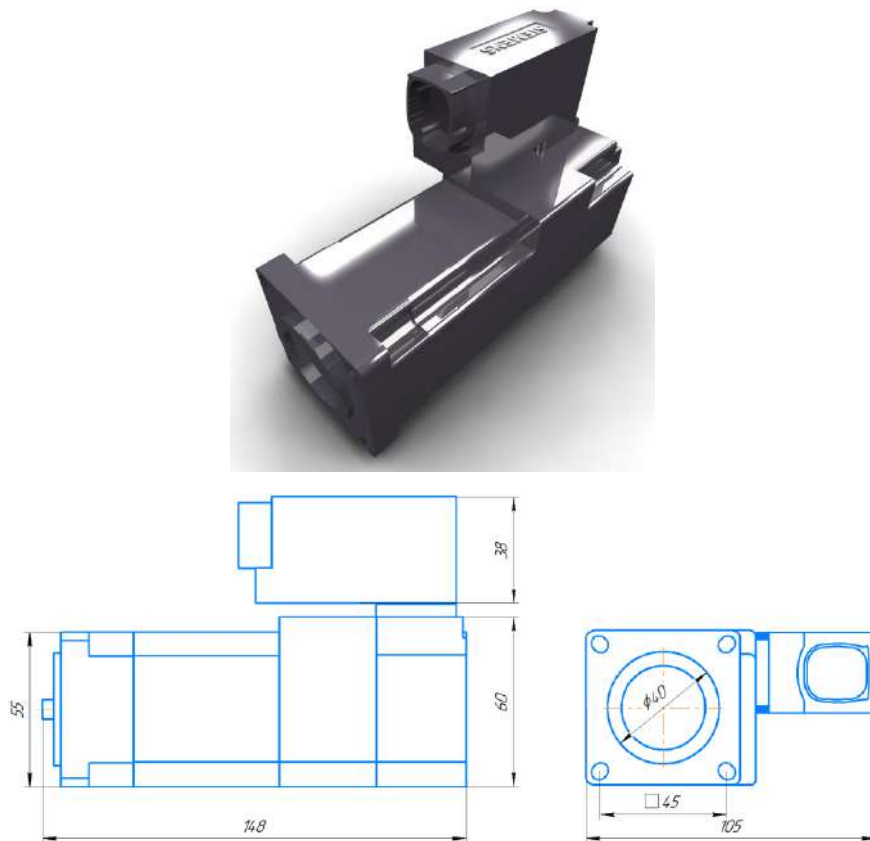


Рисунок 3.15 – Общий вид электродвигателя *Siemens FK*

Предложенное устройство МУКС (рисунок 3.16) имеет следующие характеристики: длина сердечника 1700 мм, количество витков медного провода сечением 5 мм² намотанного на сердечник $W=330$. Значение магнитодвижущей силы (МДС) катушки составляет 16500 А-витков.

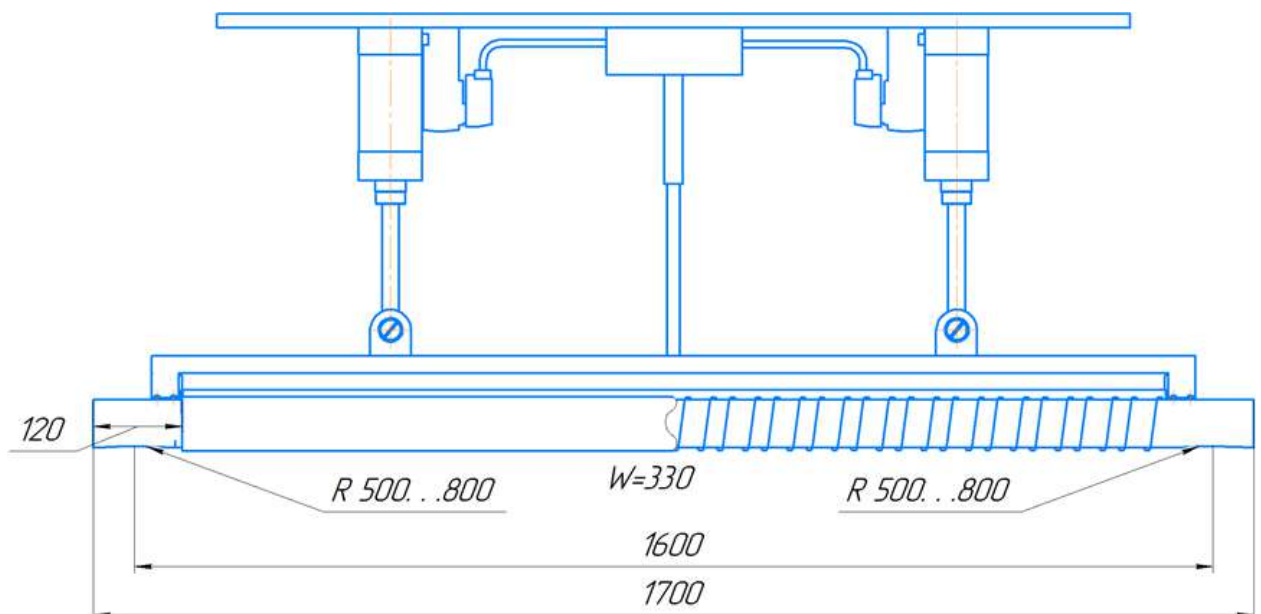


Рисунок 3.16 – Характеристики представленного устройства МУКС

Общий вид предложенной конструктивной схемы МУКС с расположением магнитопровода перед первой колесной парой по ходу движения (рисунок 3.17).

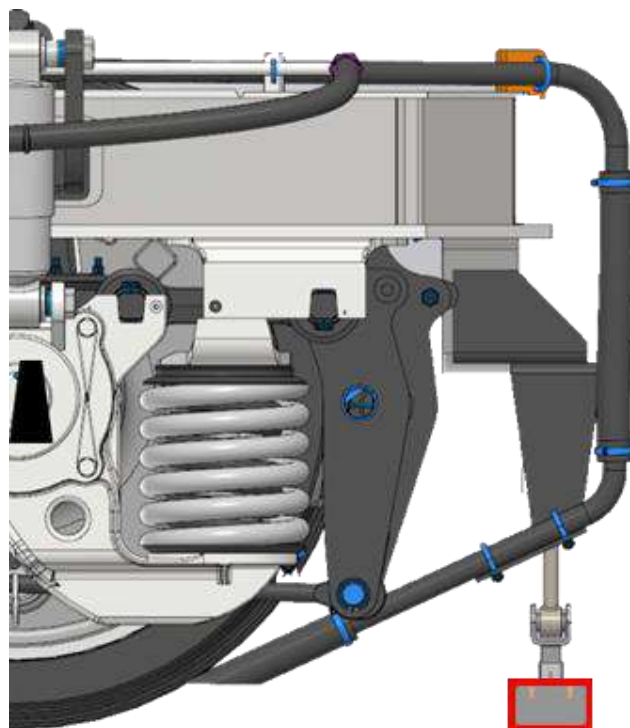


Рисунок 3.17 – Общий вид предложенной конструктивной схемы МУКС с расположением магнитопровода перед первой колесной парой по ходу движения

Технико-экономический эффект предложенной конструкции заключается в том, что, регулируя зазор между магнитопроводом и рельсом, можно управлять магнитным полем, увеличивающим коэффициент сцепления в пятне контакта колеса и рельса.

Для качественной оценки эффективности представленного усилителя коэффициента сцепления следует принимать во внимание параметры и распределение магнитного поля в установке. При выполнении расчёта магнитной системы главной целью является определение величины магнитного поля на участке магнитной цепи. На этапе предварительного расчёта достаточно использование упрощённых моделей.

При анализе полей, а также анализе процессов в электромеханических системах наиболее часто применяется метод конечных элементов (МКЭ) [111, 112], в частности, изложенный в работе В.О. Корчагина [113].

В работе представлены следующие требования, которым должен соответствовать магнитопровод, а именно: наименьшие потери в сердечнике, наибольшая магнитная проницаемость, а также высокая плотность тока сатурации.

Выполнив анализ материалов, выбор был сделан в пользу ферромагнетиков ввиду того, что они в значительной степени зарекомендовали себя в роли магнитной компоненты и оказались самыми востребованным материалом при создании электрических машин, и это самое значимое при изготовлении индукторных устройств. К ферромагнетикам относятся конструкционные стали на основе железа.

Основные кривые намагничивания сталей (Ст3, бандажная сталь), примененных в данной работе, приведены на рисунке 3.18 и рисунке 3.19.

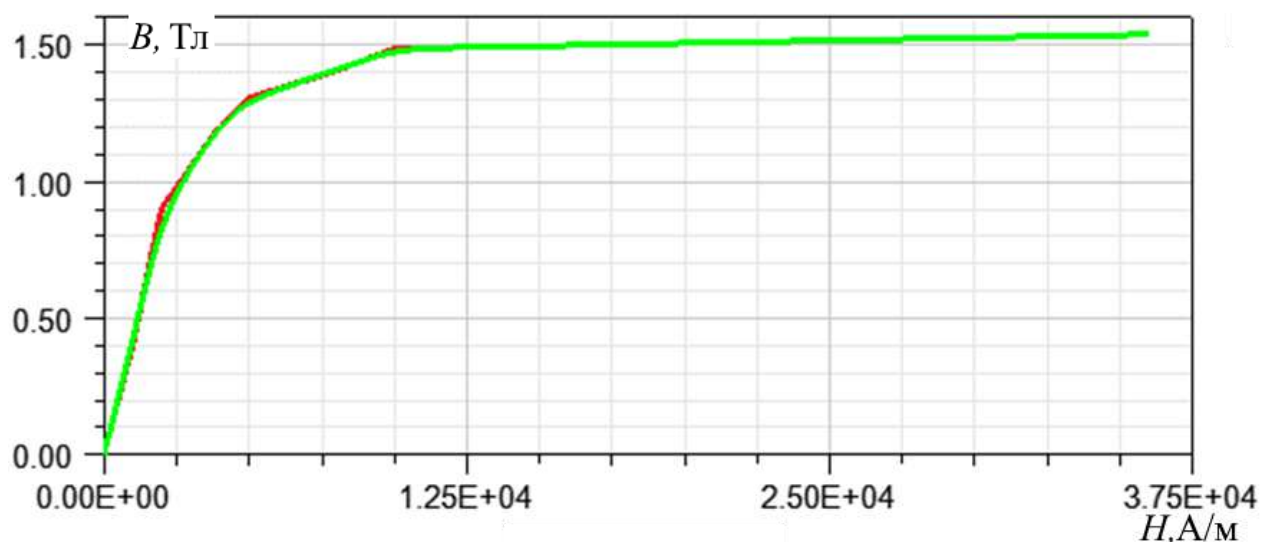


Рисунок 3.18 – Кривая намагничивания колеса и рельса

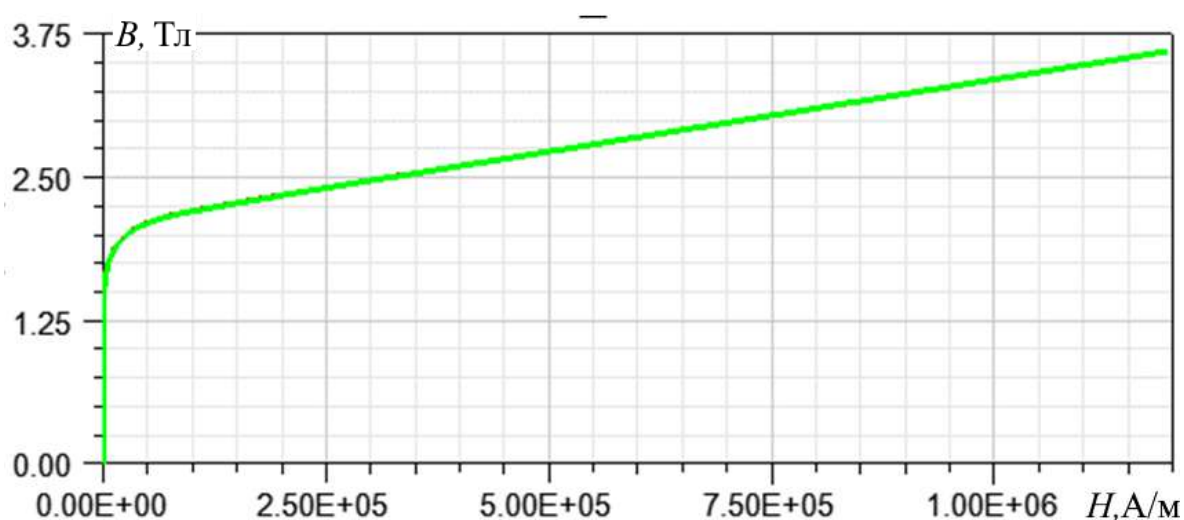


Рисунок 3.19 – Кривая намагничивания магнитопровода (Ст3)

Значение МДС катушки составляет 16500 А-витков.

При активации индуктора магнитного усилителя коэффициента сцепления основной магнитный поток замыкается через магнитопровод, рельс и колесо (рисунки 3.20-3.23).

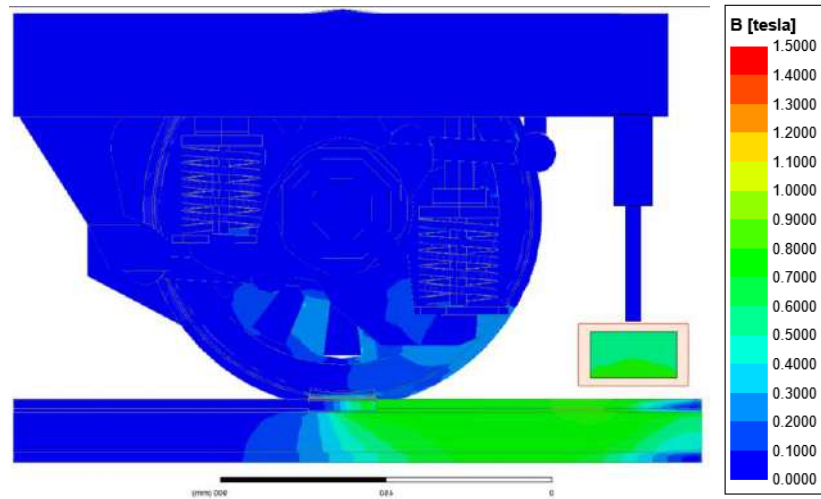


Рисунок 3.20 – Концентрация магнитного поля при зазоре 30 мм

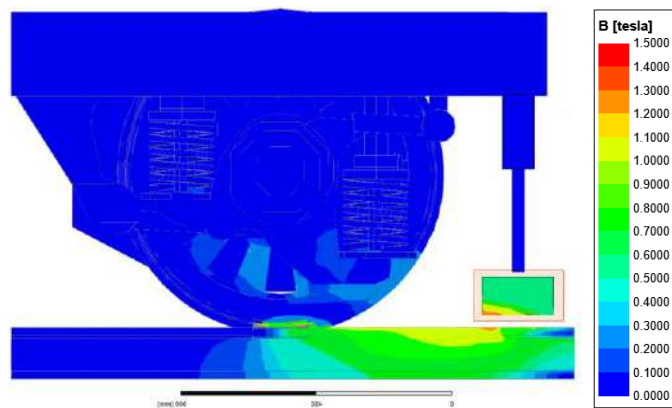


Рисунок 3.21 – Концентрация магнитного поля при зазоре 25 мм

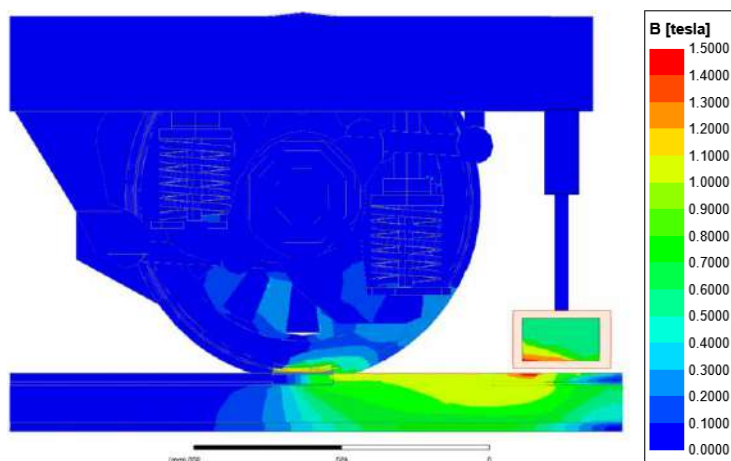


Рисунок 3.22 – Концентрация магнитного поля при зазоре 20 мм

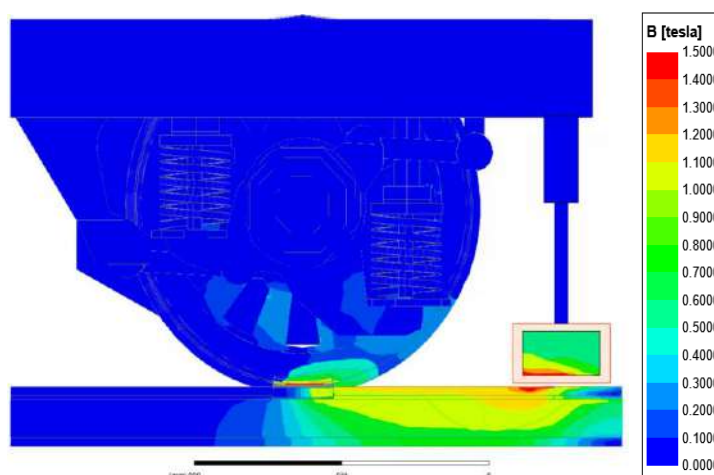


Рисунок 3.23 – Концентрация магнитного поля при зазоре 15 мм

Результаты анализа индукционного поля между колесом и рельсом в зависимости от воздушного зазора представлены в таблице 3.6 и на рисунке 3.24.

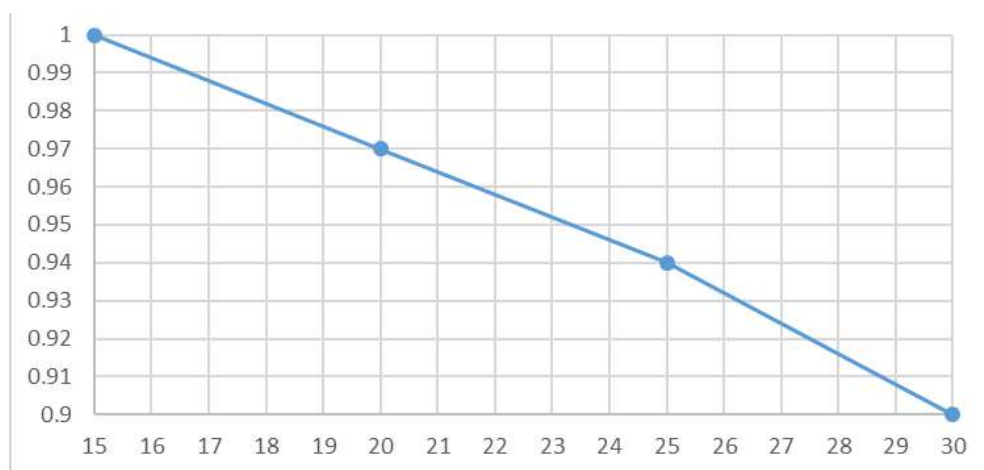


Рисунок 3.24 – Индукция между колесом и рельсом в зависимости от зазора между магнитопроводом и рельсом

Таблица 3.6 – Индукция магнитного поля между колесом и рельсом в зависимости от воздушного зазора

Воздушный зазор, мм	B, Тл
30	0.9
25	0.94
20	0.97
15	1

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что предложенные устройства позволяют увеличить сцепление колеса и рельса, что в свою очередь

противодействует возникновению ползунов на поверхностях колеса при юзе, помимо этого, уменьшается вероятность проскальзывания при трогании и движении в гору, тем самым улучшая тяговые качества локомотива, что позволяет максимально эффективно использовать тяговые свойства. Не менее значимым преимуществом предложенной конструкции является снижение стоимости ремонта ходовой части локомотива.

По результатам теоретических и опытных исследований были выявлены характерные особенности тяговой характеристики "сила-зазор" у существующих конструкций МУКС. К этим особенностям относятся: существенная зависимость силы притяжения от величины воздушного зазора между сердечником и рельсом (ориентировочно и, как следствие, необходимость очень значительных приращений МДС. для поддержания этой силы на исходном уровне при средних значениях зазора).

3.4 Выводы по разделу 3

1 В ходе выполнения диссертационной работы автором была предложена четырехуровневая классификация технических решений магнитных усилителей коэффициента сцепления.

2 В результате проведенных исследований с использованием объектного моделирования получены новые патентоспособные решения магнитных усилителей коэффициента сцепления [90, 95, 114-123].

3 В ходе выполнения исследований была установлена зависимость влияния величины воздушного зазора между элементами индукторного устройства и рельсовым полотном на распределение магнитного поля в пятне контакта колеса и рельса. За счёт уменьшения воздушного зазора от 30 мм до 15 мм можно добиться увеличения магнитной индукции в пятне контакта от 0,9 до 1,0 Тл, что позволит добиться наименьших потерь магнитного потока в экипажной части.

4 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МАГНИТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ

4.1 Разработка динамической модели тепловоза 2ТЭ25КМ

Прогресс развития современных компьютерных технологий, появление вычислительных станций и использование специализированного программного обеспечения предоставило возможность для получения точных результатов компьютерного моделирования, которые, в свою очередь достаточно схожи в пределах допустимых отклонений с результатами, полученными при натурных испытаниях.

Проведение значительно большего количества вычислительных экспериментов даёт возможность спрогнозировать поведение объекта в заданных условиях, требуемых в решении поставленной задачи.

Результаты, полученные при помощи компьютерного моделирования, учитываются на этапе разработки транспортных средств и дают возможность значительно сократить временной цикл изготовления изделия благодаря отсутствию конструктивных дефектов, устраненных при обнаружении промежуточных испытаний.

Внедрение математического моделирования значительно изменяет методику решения большого количества вопросов динамики подвижного состава.

Методы компьютерного моделирования позволяют учесть недостатки различных видов конструкций магнитных усилителей сцепления, как различные варианты размещения МУКС влияют на динамические характеристики локомотивов, провести за ограниченное время большое количество имитационных экспериментов.

Разработка системы увеличения коэффициента сцепления колеса и рельса за счёт воздействия магнитного поля на пятно контакта требует наличия информативных данных о характере влияния на эффективность системы динамических характеристик локомотива. Из этого следует, что математическое

моделирование является более оптимальным для методики проведения аналогичных испытаний. В качестве инструмента для реализации указанного метода выбран программный комплекс моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» [124].

Апробирование и отработка системы увеличения коэффициента сцепления колеса и рельса планируется на базе магистрального тепловоза 2ТЭ25КМ производства АО «УК «БМЗ».

Для исследования его динамических характеристик в среде программного комплекса была разработана его компьютерная модель.

В основу модели заложены пространственные модели основных несущих элементов тепловоза, созданные в среде промышленного программного комплекса трехмерного проектирования. При создании модели использован метод подсистем (рисунок 4.1).

Тела экипажной части тепловоза соединены при помощи невесомых упруго-диссипативных связей и шарнирных соединений.

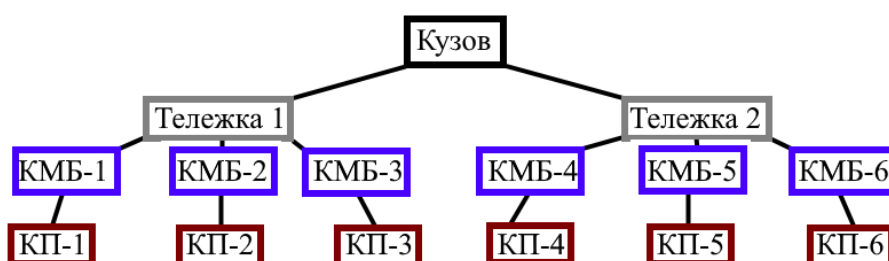


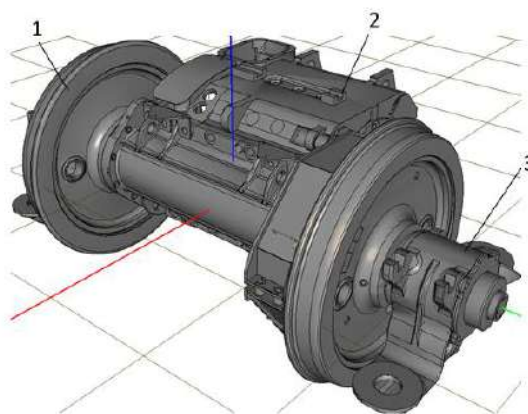
Рисунок 4.1 – Структура подсистем модели одной секции тепловоза 2ТЭ25КМ

Компьютерная модель секции локомотива состоит из двух подсистем «тележка», в которых рама и основные несущие элементы представлены как абсолютно твердые тела, обладающие инерциальными характеристиками, соответствующими реальным конструктивным элементам.

Взаимодействие рамы с буксовыми узлами колесных пар моделировалось введением упругих элементов, описывающих свойства пружин, диссипативных элементов, роль которых заключается в описании работы гидравлических гасителей колебаний.

Поводки, связывающие раму с буксовым узлом, представлены в модели абсолютно твердыми телами, связанными с рамой и буксовым узлом через вращательные шарниры и упруго-диссипативные элементы, учитывающие свойства резинометаллических шарниров. При этом поводок соединяется по двум своим сторонам силовыми упруго-диссипативными (нелинейными биполярными) элементами, служащими для описывания свойств резинометаллических блоков в поводках букс. Букса, в свою очередь, в модели описана как вращательный шарнир [125].

В разработанной динамической модели секции тепловоза колёсная пара представлена абсолютно твёрдым телом, обладающим всеми (шестью) степенями свободы, колесная пара представлена в качестве подсистемы пакетного модуля *UM Loco*, выполненная при этом соответствующей источнику [126] и не имеющая износа на круге катания.

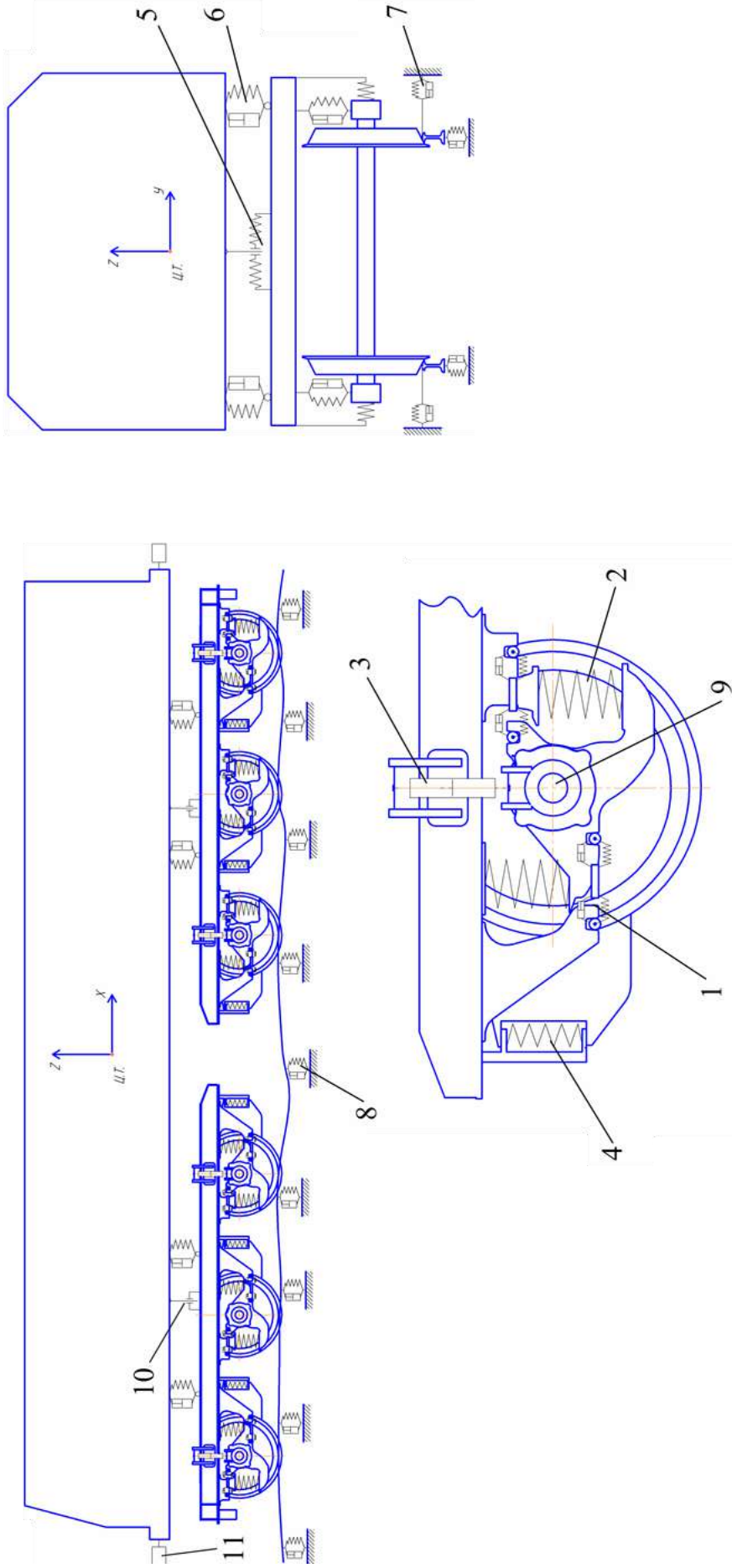


1 – колёсная пара; 2 – тяговый электродвигатель; 3 – букса

Рисунок 4.2 – Внешний вид твердотельной модели колёсно-моторного блока

Колесно-моторный блок (рисунок 4.2) предоставлен совокупностью абсолютно твёрдых тел, описывающих колесную пару с зубчатым колесом, буксовые узлы, тяговые электродвигатели. Взаимодействие буксового узла и тягового электродвигателя с колесной парой моделировалось введением вращательных шарниров. Подвешивание тягового электродвигателя на раму описывалось введением системы упруго-диссипативных элементов.

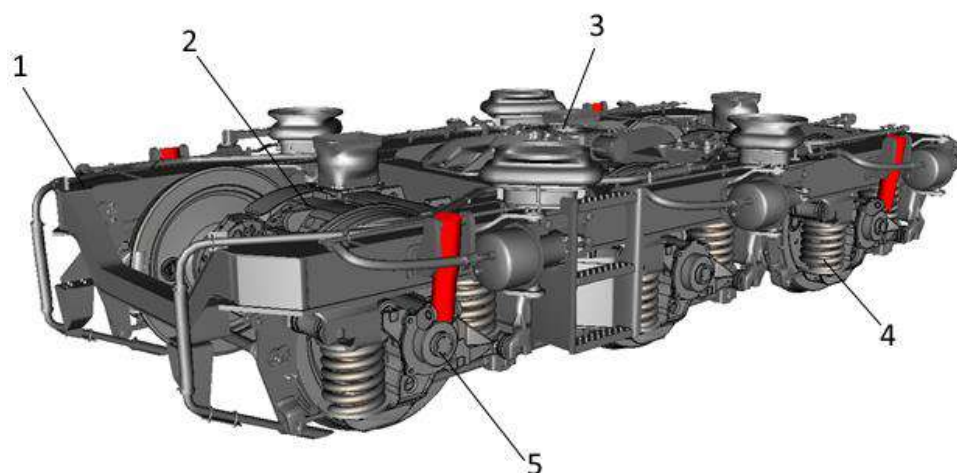
Структурная схема динамической модели секции тепловоза представлена на рисунке 4.3.



1 – вращательный шарнир и упруго-диссипативные элементы учитывающие свойства резино-металлического шарнира; 2 – линейный силовой элемент, моделирующий пружину буксовой ступени подвешивания; 3 – диссипативный линейный биполярный силовой элемент, моделирующий гаситель колебаний; 4 – линейный силовой элемент, передающий усилие в поперечном направлении моделирующий усилие тягового электродвигателя на раму тележки; 5 – линейный силовой элемент, передающий усилие в поперечном направлении моделирующий усилие пружины шкворневой балки; 6 – упруго-диссипативные элементы; 7 – упруго-диссипативный элемент, моделирующий усилие в горизонтальной плоскости; 8 – упруго-диссипативный шарнир, описывающий усилие в вертикальной плоскости; 9 – вращательный шарнир, передающий усилие в продольном направлении между кузовом и рамой тележки через шкворень; 10 – контактный и силовой элемент передающий усилие в продольном направлении между кузовом и рамой тележки через шкворень; 11 – подсистема «цепное устройство»

Рисунок 4.3 – Структурная схема динамической модели секции тепловоза

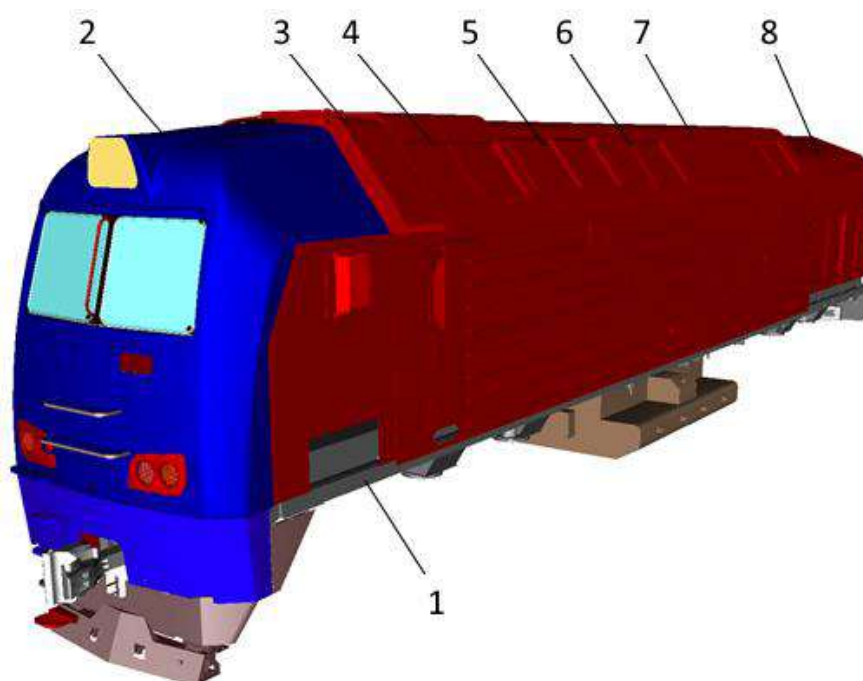
Внешний вид твердотельной модели подсистемы «тележка» динамической модели тепловоза представлена на рисунке 4.4.



*1 – рама; 2 – колёсно-моторный блок; 3 – установка опорно-возвращающего устройства;
4 – подвешивание рессорное; 5 – буксовый узел*

Рисунок 4.4 – Внешний вид твердотельной модели подсистемы «тележка»

Подсистема «кузов» предоставлена абсолютно твёрдым телом, обладающим инерционными характеристиками, соответствующими реальным характеристикам кузова полностью экипированного локомотива (рисунок 4.5).

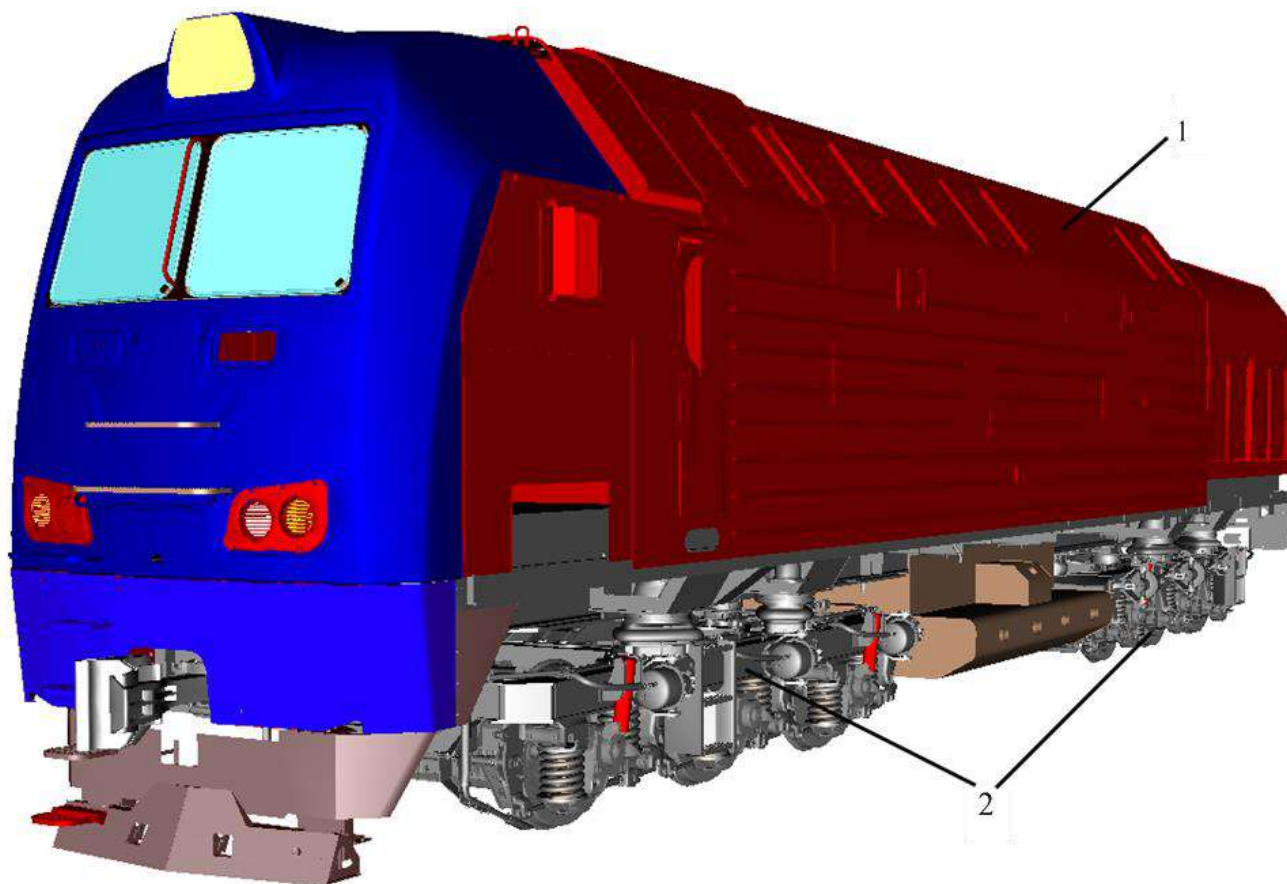


1 – рама; 2 – кабина машиниста; 3 – блок крыши передней; 4 – блок крыши над электродинамическим тормозом; 5 – блок крыши над выпрямителем; 6 – блок крыши над тяговым генератором; 7 – блок крыши над глушителем; 9 – блок крыши над вентиляторами охлаждения задней тележки

Рисунок 4.5 – Внешний вид твердотельной модели подсистемы «кузов»

Опираение кузова на тележки описывалось упруго-диссипативными элементами, учитывающими характеристики резинометаллических опор.

Передача усилий в продольном направлении между кузовом и рамой тележки через шкворень описывалась введением контактных и силовых элементов, а в поперечном направлении упругими и контактными элементами.



1 – кузов тепловоза; 2 – тележка

Рисунок 4.6 – Компьютерная модель магистральный тепловоз 2ТЭ25КМ производства «УК «БМЗ»

После создания компьютерной модели тепловоза, необходимо было проверить сходимость результатов компьютерного моделирования с натурными испытаниями.

Для проверки работоспособности модели были проведены варианты расчетов при различных скоростях движения и различной геометрии пути. Полученные результаты математического моделирования были сопоставлены с результатами ходовых испытаний тепловоза 2ТЭ25КМ, сравнение результатов представлены в таблице 4.1 и в ПРИЛОЖЕНИИ Б.

Таблица 4.1 – Сравнение натуральных испытаний с данными, полученными с помощью компьютерного моделирования

<p>Коэффициент вертикальной динамики первой ступени подвешивания тепловоза 2ТЭ25КМ на прямом участке пути для 1-й колесной пары по ходу движения</p>	<p>Натуральные испытания</p> <p>1-я колесная пара по ходу движения</p> <p>Компьютерное моделирование</p> <table border="1"> <caption>Натуральные испытания (1-я колесная пара)</caption> <thead> <tr> <th>Скорость, км/ч</th> <th>Коэф. вертик. динамики</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>60</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>80</td><td>0.11</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>120</td><td>0.10</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <caption>Компьютерное моделирование (1-я колесная пара)</caption> <thead> <tr> <th>Скорость, км/ч</th> <th>Коэф. вертик. динамики</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>60</td><td>1.12</td></tr> <tr><td>80</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>120</td><td>0.10</td></tr> </tbody> </table>	Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики	40	0.08	60	0.10	80	0.11	100	0.10	120	0.10	Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики	40	0.08	60	1.12	80	0.09	100	0.09	120	0.10	<p>Коэффициент вертикальной динамики первой ступени подвешивания тепловоза 2ТЭ25КМ на прямом участке пути для 1-й колесной пары по ходу движения</p>
Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики																									
40	0.08																									
60	0.10																									
80	0.11																									
100	0.10																									
120	0.10																									
Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики																									
40	0.08																									
60	1.12																									
80	0.09																									
100	0.09																									
120	0.10																									
<p>Коэффициент вертикальной динамики первой ступени подвешивания тепловоза 2ТЭ25КМ на прямом участке пути для 2-й колесной пары по ходу движения</p>	<p>Натуральные испытания</p> <p>2-я колесная пара по ходу движения</p> <p>Компьютерное моделирование</p> <table border="1"> <caption>Натуральные испытания (2-я колесная пара)</caption> <thead> <tr> <th>Скорость, км/ч</th> <th>Коэф. вертик. динамики</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>60</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>80</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>120</td><td>0.10</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <caption>Компьютерное моделирование (2-я колесная пара)</caption> <thead> <tr> <th>Скорость, км/ч</th> <th>Коэф. вертик. динамики</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>60</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>80</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>120</td><td>0.11</td></tr> </tbody> </table>	Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики	40	0.05	60	0.08	80	0.09	100	0.09	120	0.10	Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики	40	0.06	60	0.07	80	0.09	100	0.10	120	0.11	<p>Коэффициент вертикальной динамики второй ступени подвешивания тепловоза 2ТЭ25КМ на прямом участке пути для первой тележки по ходу движения</p>
Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики																									
40	0.05																									
60	0.08																									
80	0.09																									
100	0.09																									
120	0.10																									
Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики																									
40	0.06																									
60	0.07																									
80	0.09																									
100	0.10																									
120	0.11																									
<p>Коэффициент вертикальной динамики второй ступени подвешивания тепловоза 2ТЭ25КМ на прямом участке пути для первой тележки по ходу движения</p>	<p>Натуральные испытания</p> <p>1-я тележка по ходу движения</p> <p>Компьютерное моделирование</p> <table border="1"> <caption>Натуральные испытания (1-я тележка)</caption> <thead> <tr> <th>Скорость, км/ч</th> <th>Коэф. вертик. динамики</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>60</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>80</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.17</td></tr> <tr><td>120</td><td>0.19</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <caption>Компьютерное моделирование (1-я тележка)</caption> <thead> <tr> <th>Скорость, км/ч</th> <th>Коэф. вертик. динамики</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>60</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>80</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>120</td><td>0.20</td></tr> </tbody> </table>	Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики	40	0.05	60	0.10	80	0.15	100	0.17	120	0.19	Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики	40	0.06	60	0.14	80	0.14	100	0.15	120	0.20	<p>Коэффициент вертикальной динамики второй ступени подвешивания тепловоза 2ТЭ25КМ на прямом участке пути для первой тележки по ходу движения</p>
Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики																									
40	0.05																									
60	0.10																									
80	0.15																									
100	0.17																									
120	0.19																									
Скорость, км/ч	Коэф. вертик. динамики																									
40	0.06																									
60	0.14																									
80	0.14																									
100	0.15																									
120	0.20																									

Коэффициент вертикальной динамики первой ступени подвешивания на математической модели не превышает разницы на 10% в сравнении с натурными испытаниями, что находится в допустимых пределах.

Сопоставив данные коэффициента вертикальной динамики второй ступени подвешивания первой тележки по ходу движения при скорости 110 км/ч не превышает 0,20, что на 3,8% больше данных полученных при натурных испытаниях тепловоза.

Различие результатов компьютерного моделирования и ходовых испытаний не превысило 10%, что свидетельствует о достоверности данных, получаемых с использованием разработанной модели.

Сопоставив данные, приходим к выводу, что динамическое воздействие на путь модели тепловоза во всем диапазоне скоростей движения не превышает установленных норм и соответствует натурным испытаниям тепловоза.

4.2 Использование магнитных усилителей коэффициента сцепления для создания противобуксовочных систем локомотива

В настоящее время в грузовом движении на железных дорогах практически безальтернативным видом тяги продолжает оставаться тяга с помощью автономных локомотивов, осуществляемая за счет сцепления колеса с рельсом. При этом дальнейшее развитие грузовых локомотивов, как определенного вида машин, сейчас практически всецело определяется возможностью развития их тяговых свойств.

В [91] был проведен анализ эволюции противобуксовочных систем, и предложена следующая схема их развития (рисунок 4.7).

Внедрению новых способов прогнозирования начала буксования в практику тяги препятствует, в частности, то, что на данный момент нет общепринятых выводов, какой из этих способов следует считать более эффективным.

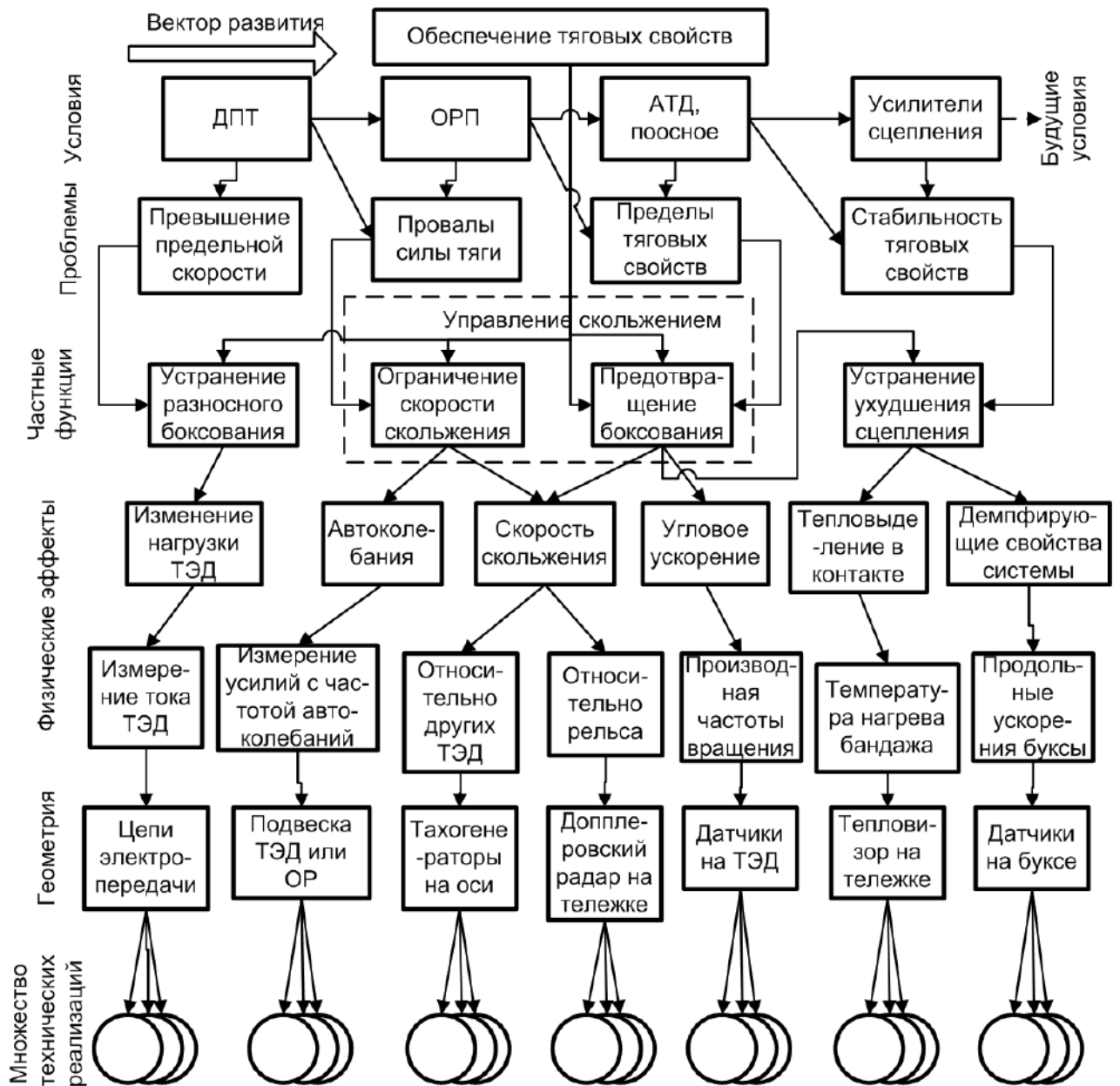


Рисунок. 4.7 – Эволюция противобуксовочных систем с точки зрения развития их функциональности при изменении условий и важнейших проблем потребителя

Основной трудностью в использовании систем, основанных на измерении абсолютного или относительного скольжения колеса по рельсу, является небольшая разница в величине скоростей и сложность определения горизонтальной скорости рельса. Использование в качестве диагностического параметра углового ускорения вращающихся частей также может не дать результата в случае, если рост относительного скольжения происходит постепенно (например, при развитии автоколебаний в приводе).

Работа устройства для обнаружения начала процесса буксования колесных пар локомотива основана на тех же принципах, что и компьютерного манипулятора «Мышь» с оптическим устройством, то есть на анализе изменения картинки, наблюдаемой в окно манипулятора, благодаря чему манипулятор «мышь» работает при движении по различным поверхностям в широком диапазоне скоростей.

Основным достоинством такого устройства является то, что оно может быть применено независимо от конструкции тягового привода и диаметра колес локомотива.

Основным недостатком такого устройства является необходимость защиты оптических датчиков от попадания пыли, влаги и снега при движении локомотива.

На мой взгляд, наиболее перспективным способом прогнозирования начала буксования является способ, основанный на регистрации автоколебаний при буксовании.

В тяговых приводах при скольжении колесной пары по рельсу могут возникать автоколебания, как при трогании с места, так и в движении. Наиболее распространенным видом автоколебаний являются автоколебания с частотой собственных крутильных колебаний колесной пары по форме, при которой колеса колеблются в противофазе по отношению друг к другу.

Система предупреждения буксования, основанная на регистрации автоколебаний, была практически создана и использована на шведском локомотиве *Rc* фирмы *ASEA*. Особенностью этого локомотива является применение опорно-рамного привода с осевым редуктором при диаметре колес 1300 мм, склонного к развитию автоколебаний колесной пары. Как показали отечественные исследования, автоколебания колесной пары характерны и для локомотивов с диаметром колеса 1250 мм и аналогичной схемой тягового привода, при этом вследствие автоколебаний сила тяги локомотива при проскальзывании падает меньше, чем у локомотивов с приводами, не склонными к развитию автоколебаний. В электровозах *Rc* регистрация автоколебаний производилась путем измерения усилия в тяге осевого редуктора с помощью датчиков *Pressductor*, действие которых основано на эффекте магнитоупругости, с фильтром сигнала, с частотой,

близкой к частоте автоколебаний. При иной конструкции тягового привода могут быть использованы другие способы регистрации автоколебаний, в том числе путем измерений напряжений в оси и продольных ускорений букс, а также иных частей тягового привода, при других формах автоколебаний.

Достоинством данного метода является сравнительная простота реализации и непосредственная связь диагностического признака с процессом скольжения колеса по рельсу, а также надежность обнаружения буксования при указанном типе привода.

Недостатком данного метода является то, что он зависит от склонности привода к развитию автоколебаний при буксовании. Наилучшими видами приводов для использования данного метода является привод с осевым редуктором, в том числе и групповой привод тепловозов с гидropередачей. Кроме того, использование данного метода связано с существенным проскальзыванием колес по рельсу, необходимому для возникновения автоколебаний.

Способы, основанные на изменении свойств динамической системы экипажа при буксовании.

При скольжении колеса по рельсу даже без возникновения автоколебаний меняются упруго-диссипативные свойства системы, что меняет характер динамических процессов в них.

Данное направление является перспективным в связи с тем, что в качестве информативного признака можно использовать оценки различных свойств динамической системы привода (затухание колебаний и т.п.), однако для этого требуются дальнейшие исследования.

Ввиду этого, в роли основного информативного признака для предупреждения буксования выбор был сделан в пользу продольных ускорений буксы. Вследствие того, что самой первой воспринимает и далее передает экипажной части продольные ускорения именно букса, передаваемые от оси колесной пары, которые появляются в зоне контакта колеса и рельса при создании тяги.

4.3 Разработка системы предупреждения начала буксования и его предотвращения

Появление автоколебаний является признаком появления буксования, которые применяются в системах обнаружения и предотвращения буксований [127-129]. Некоторое время назад эти системы считались самыми прогрессивными, но имеющими недостаток, заключающийся в том, что способны реагировать на уже возникшее буксование и способны его подавить, но не предотвратить.

Угловые скорости и ускорения осей колесных пар в режимах буксования и максимальной тяги при рассмотрении вопросов, связанных с регистрацией продольных и вертикальных колебаний буксы, а также формирования информационной базы данных необходимо оборудовать тепловоз системой предупреждения буксований, которая должна состоять из управляемого блока со встроенной памятью, датчиков, измеряющих линейные ускорения, а также бесконтактного датчика угловых координат.

На основании поставленной задачи по созданию устройства предотвращения буксования предлагается устройство, позволяющее в автоматическом режиме определять момент начала буксования и его ликвидацию при помощи магнитного усилителя коэффициента сцепления (рисунок 4.8).

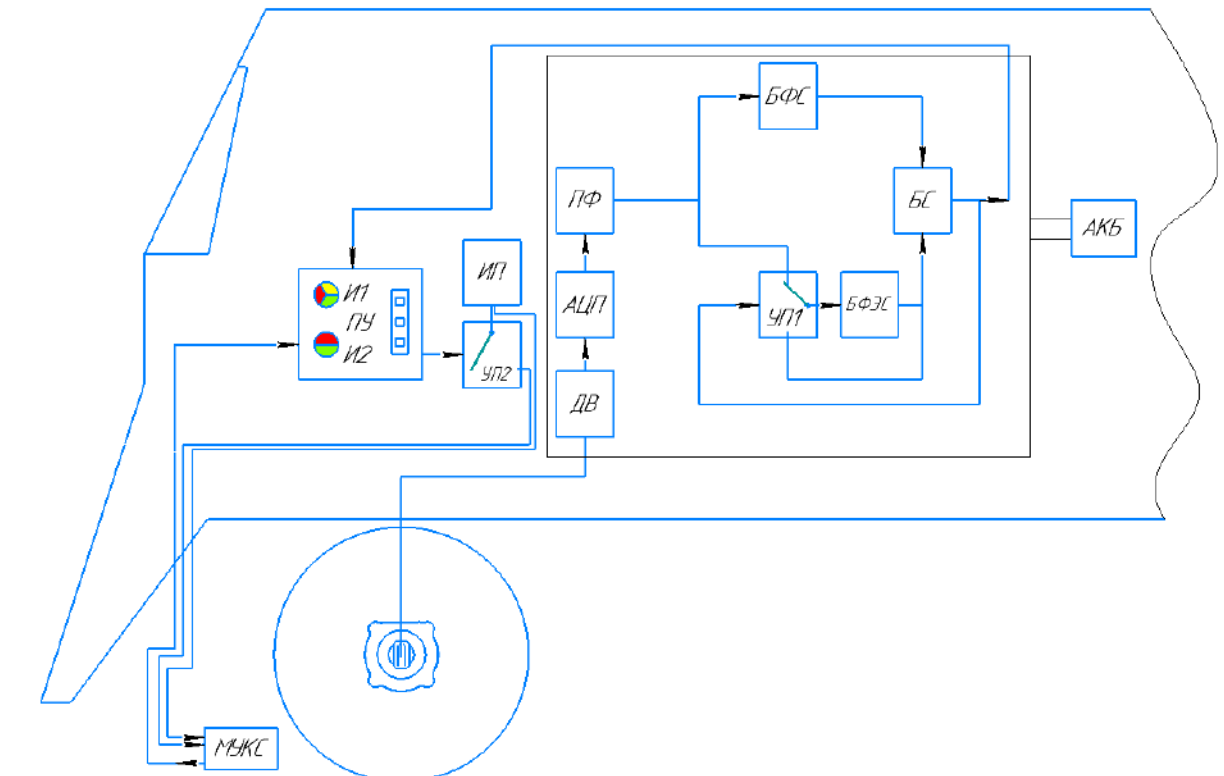
На основании поставленной задачи по созданию устройства предотвращения буксования предлагается устройство, позволяющее в автоматическом режиме определять момент начала буксования и его ликвидацию при помощи магнитного усилителя коэффициента сцепления (рисунок 4.8).

В общей системе предотвращения буксования предлагаемое устройство, позволяющее своевременно обнаружить неустойчивый процесс сцепления колеса и рельса.

Устройство состоит из установленного на буксе датчика виброскорости (ДВ), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), полосового фильтра (ПФ), блока формирующего уровень текущего сигнала (БФС), блока, который формирует

усреднённый (эталонный) сигнал (БФЭС), блока сравнения (БС), позволяющего сравнивать сигналы блоков БФС и БФЭС, а также управляемого переключателя (УП1).

Система обнаружения начала буксования работает следующим образом: поступающий сигнал с датчика ДВ передается на аналогово-цифровой преобразователь АЦП, с которого после преобразования поступает на вход полосового фильтра ПФ.



ПФ – полосовой фильтр; УП – управляющий блок; ДВ – датчик виброскорости; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; БФС – блок формирующий сигнал; БФЭС – блок формирующий эталонный сигнал; БС – блок сравнения; УП – управляемый переключатель; ИП – источник питания; АКБ – аккумуляторная батарея

Рисунок 4.8 – Функциональная блок-схема устройства предотвращения буксования

При поступлении сигнала в полосовой фильтр происходит его фильтрация, после чего сигнал, обладающий информацией о процессах заданного диапазона частот, передается на блок формирующий сигнал для генерации сигнала, соответствующего динамическому режиму.

В соответствии с [91] S_t является характеристикой временного ряда (статической), высчитываемой за небольшие интервалы времени. Одновременно с

этим происходит формирование уровня эталонного сигнала в блоке, формирующем эталонный сигнал, а здесь S_e выступает в качестве характеристики (статической) временного ряда, высчитанной уже за продолжительный период времени.

Можно сказать, что параметр S_t повторяет отклонение интенсивности вибрационного процесса привода. Параметр S_e изменяется медленнее, имеет постоянное среднее значение, соответствующее установившемуся режиму работы, и его можно назвать примерно постоянным. Небольшое увеличение скорости локомотива вызывает увеличение частоты колебаний привода и, соответственно, увеличение параметров S_e и S_t , но соотношение не меняется до тех пор, пока в тяговом приводе не возникнет переходный процесс и частота не изменится скачкообразно и, соответственно, эти параметры.

Требования к системе обнаружения начала буксования:

- малые габариты;
- автономность работы системы;
- высокая надёжность при динамических нагрузках;
- точность измерения, без частой калибровки.

Предлагается создать систему обнаружения буксования на платформе микроконтроллера *ATMEGA328*, выступая в качестве линейного акселерометра *ADXL375*, его функциональная задача заключается в регистрации ускорения в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Магниторезистивный датчик *HMC1501* представляет собой датчик угловых координат. Запитать систему предупреждения начала буксования предложено от собственного АКБ.

Записи считываемой информации накапливаются как фрагменты, которые содержат информацию о динамическом режиме на протяжении 8 секунд, из которых 4 секунды – до срабатывания, и 4 секунды – после срабатывания РБ.

С учетом данных, полученные в работе [91], предполагается выполнять регистрацию динамических процессов в диапазоне частот от 0 до 500 Гц. Сделано заключение, что частота формирования временного ряда составляет 1000 Гц, и один фрагмент содержит 8000 значений.

При получении сигнала от пробуксовочного устройства в долговременную память компьютера записывается фрагмент с историей 4 секунды плюс 4 секунды с момента получения сигнала. Из этого следует, что в памяти происходит накапливание только информативных фрагменты, которые, в свою очередь, позволяют наиболее рационально использовать объем встроенной памяти. При выходе из так называемого стационарного режима происходит практически моментальное возрастание параметра S_t , при этом параметр S_e , относительно опаздывает и отличен от предыдущего значения, которое относится к статическому режиму.

В блоке сравнения в этот момент происходит классификация режима работы тягового привода:

$$q = \frac{S_t}{kS_e}, \quad 4.1$$

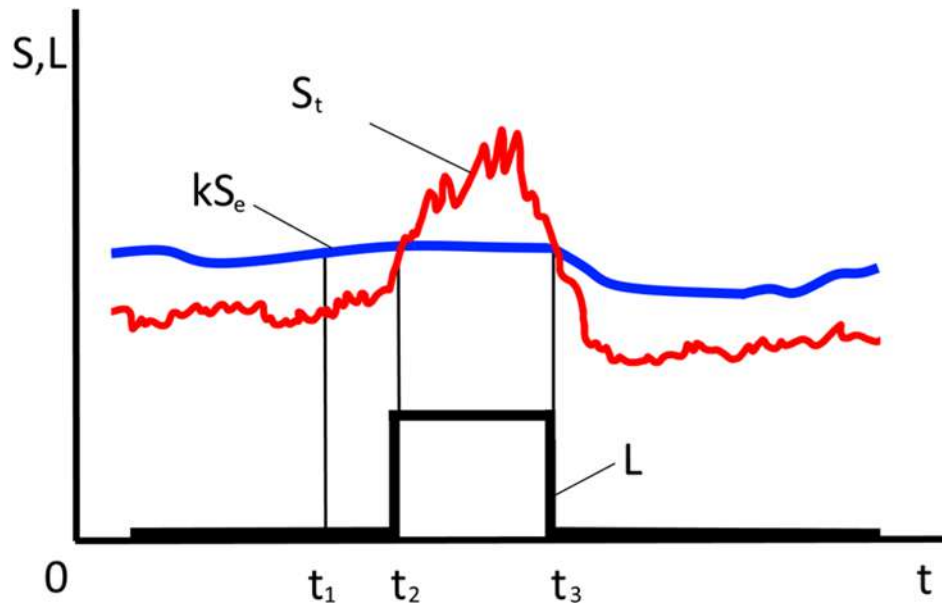
где k – это постоянный коэффициент, служащий для описания чувствительности устройства, который устанавливается в процессе регулировки ($k > 1$).

Если $q < 1$, это означает, что режим тяги устойчивый, система продолжает работать в автоматическом режиме до скорости в 15 км/ч, на пульте управления у машиниста отображается индикатор (И1) зеленого цвета, информирующий о устойчивом режиме тяги, а индикатор И2 горит красным цветом, который описывает режим работы системы МУКС, в данном случае обозначающий пассивный режим работы.

Если $q > 1$, это указывает на переходный режим или режим буксования, в таком случае у машиниста на пульте управления (ПУ) индикатор (И1) меняет цвет на красный, а сигнал с пульта управления поступает на управляемый переключатель УП2, тем самым замыкая цепь системы МУКС на источник питания (ИП), с которого на пульт управления ПУ приходит сигнал на индикатор И2, отображаемый на пульте управления зеленым цветом.

Изменение от времени величин S_t и kS_e , а также сигнала на выходе блока БС – $L(q)$ [91] показано на рисунке 4.9.

До наступления временного момента t_1 режим работы привода соответствует режиму тяги – $L(q) = 0$.



S_t – статистические характеристики временного ряда, вычисляемые за малый промежуток времени;

S_e – статистические характеристики временного ряда, вычисленные за длительный промежуток времени; k – постоянный коэффициент

Рисунок 4.9 – Временные диаграммы работы устройства обнаружения предельных по сцеплению режимов работы тягового привода рельсового транспорта [91]

Когда происходит наступление момента времени t_2 , начинает выполняться условие $q > 1$, появляется переходный процесс, при котором повышается S_t в это же время изменения параметра kS_e практически не происходит. В этот момент срабатывает блок сравнения, на выходе которого формируется сигнал $L(q) = 1$. Управляемый сигналом блока сравнения первый управляемый переключатель выполняет отключение блока формирования эталонного сигнала от полосового фильтра, в этот момент происходит соединение входов с выходами блока формирования эталонного сигнала между собой. Происходит закликивается параметра S_e , сохраняющего уровень тягового режима в блоке формирования эталонного сигнала. Для предотвращения переходного режима и соответственно обеспечения устойчивого сцепления в зоне контакта колеса и рельса с момента t_2 включается исполнительная часть устройства МУКС, при этом значение параметра S_t уменьшается. При достижении момента времени t_3 , соответствующее условию $q < 1$, при этом блок сравнения принудительно передаёт сигнал первому

управляемому переключателю о соединении входной части блока формирующего эталонный сигнал с выходной частью полосового фильтра, с этого момента устройство в полной степени к работе в прямом назначении.

Следует отметить, что описанная система имеет функциональную особенность к адаптации в зависимости от различных эксплуатационных условий. Обусловлено это медленным изменением интенсивности вибраций привода локомотива.

Предлагаемая система адаптируется к самым разным условиям эксплуатации, так как интенсивность вибрации привода изменяется медленно в зависимости от воздействующих факторов, к которым относятся износ ходовой части, скорость движения, климатические условия, состояние рельсового полотна и тому подобное. Данная особенность системы позволяет обеспечить хорошую точность при прогнозировании, а также, что не менее важно, надёжности для возможности раннего обнаружения возникающего переходного процесса ведущего к буксованию.

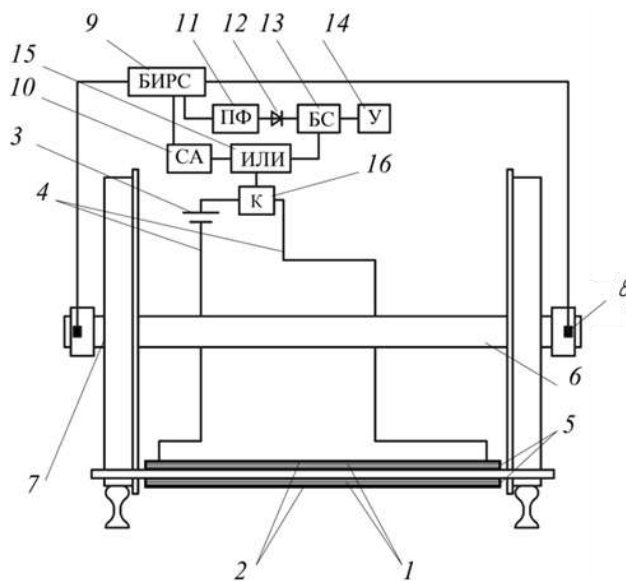
В ходе выполнения диссертационной работы была предложена еще одна схема управления для двух вариантов конструкций магнитного устройства (рисунок 4.10).

Известно, что при движении локомотива без скольжения колес по рельсу вследствие конической формы колес диаметр левого и правого колеса в местах контакта их с рельсом оказывается различным в зависимости от случайного положения колесной пары в рельсовой колее в пределах зазора между рельсами и гребнями колес. Поскольку частота вращения левого и правого колеса колесной пары при одной и той же скорости поступательного движения колесной пары и разнице диаметров левого и правого колеса в месте касания их с рельсами будет различной, в оси колесной пары возникает крутящий момент, меняющийся случайным образом в зависимости от положения колесной пары в рельсовой колее, наличия поперечных неровностей пути, кривых участков пути и стрелочных переводов. При начале скольжения колесной пары по рельсу касательные крутящий момент в оси становятся постоянным, в связи с тем, что вследствие

скольжения колес прекращается закручивание оси, вызванное разницей диаметра колес. При дальнейшем увеличении скорости скольжения колес по рельсу, в результате возникновения фрикционных автоколебаний, в оси колесной пары возникают переменный крутящий момент с частотой, близкой к частоте собственных колебаний левого и правого колеса колесной пары в противофазе [130].

В работе предложен вариант функциональной блок-схемы устройства предупреждения и предотвращения буксования (рисунок 4.10).

Суть предлагаемой схемы показана на рисунке 4.10. Схема подключения устройства для повышения сцепления содержит обмотку намагничивания 1 в виде катушки 2, выполненной из изолированного провода, с помощью соединительного провода 4, присоединенного к магнитопроводу 5, подключенному к источнику питания 3. Устройство включает в себя два датчика продольного ускорения 8, расположенные в буксе, установленной на оси 6 колесной пары 7, блок измерения разности сигналов (БИРС) 9, статистический анализатор сигналов (СА) 10, полосовой фильтр (ПФ) 11, выпрямитель (В) 12, блок сравнения 13, блок уставки 14, логический элемент «ИЛИ» 15 и ключ (К) 16.



- 1 – обмотка; 2 – катушка; 3 – источник питания; 4 – провод; 5 – магнитопровод; 6 – ось;
7 – колесная пара; 8 – датчик продольных ускорений; 9 – блок измерения разности сигналов;
10 – статистический анализатор сигналов; 11 – полосовой фильтр; 12 – выпрямитель;
13 – блок сравнения; 14 – блок уставки

Рисунок 4.10 Функциональная блок-схема устройства предотвращения буксования

Схема устройства работает следующим образом. При пропускании по обмотке катушки тока от ИП возникает магнитный поток, проходящей через ось колесной пары, оба колеса колесной пары и рельсы, что приводит к изменению физико-механических свойств в зоне контакта металлических тел (колес с рельсами) и изменяет коэффициент сцепления колес с рельсами.

При движении локомотива в оси 6 колесной пары возникает крутящий момент, который вызывает угловые ускорения тягового электродвигателя двигателя. Эти угловые ускорения вызывают противоположно направленные продольные ускорения на каждой буксе, которые регистрируются датчиками продольных ускорений 8, каждый из которых связан со входом блока измерения разности сигналов 9 БИРС, на выходе которого возникает сигнал, пропорциональный разности продольных ускорений на буксах, который поступает на входы статистического анализатора сигналов 10 СА и полосового фильтра 11 ПФ. При отсутствии скольжения колесной пары по рельсу крутящий момент в оси колесной пары 6, обусловленный изменением положения колесной пары в рельсовой колее, меняется медленно, величина продольных ускорений на буксах, сигналов на входе блока измерения разности сигналов 9 БИРС и сигнала на выходе измерительного блока 9 БИРС будет незначительна. При воздействии на тяговый электродвигатель продольных ускорений, вызванных прохождением неровностей пути, продольные ускорения на каждой буксе, сигналы на выходах датчиков продольных ускорений 8 и выходе блока измерения разности сигналов 9 БИРС меняются случайным образом. Статистический анализатор сигналов 10 СА определяет дисперсию случайного сигнала, и, если она не ниже порогового значения, определенного в результате испытаний, на выходе статистического анализатора сигналов 10 СА на входе элемента «ИЛИ» 15 и на входе ключа 16 К не возникает сигнала, ключ 16 К закрыт, и ток от источника 3 на катушку 2 не подается.

Когда колеса начинают скользить по рельсу, дисперсия продольного ускорения буксы уменьшается и на выходе блока 10 СА поступает на логический элемент «ИЛИ» 15, который вырабатывает сигнал со своего выхода. При

размыкании ключа 16К и подаче тока на катушку 2 от источника питания 3 возникает магнитный поток через ось 6 колесной пары, как колеса, так и рельсы колесной пары. Изменяются физико-механические свойства зоны контакта металлических тел (колеса и рельса), увеличивая коэффициент сцепления колеса с рельсом.

В случае резкого ухудшения сцепления колес с рельсами скольжение колес по рельсу возрастает, возникают фрикционные автоколебания, которые приводят к периодическим изменениям крутящего момента в оси 9, периодическим продольным ускорениям букс, что приводит к уменьшению и появлению периодически изменяющихся сигналов на выходах датчиков продольных ускорений 8 и выходе блока измерения разности сигналов 9 БИРС.

На вход полосового фильтра с выхода блока измерения разности сигналов подается периодически изменяющийся сигнал. Полосовой фильтр пропускает только сигналы с частотами, соответствующими собственным частотам колесной пары, чтобы избежать ложных срабатываний. Сигнализация устройства. Сигнал с выхода полосового фильтра выпрямляется выпрямителем и поступает на вход блока сравнения. На другой вход блока сравнения поступает сигнал от блока установки, значение которого определяется по результатам проверки. Если значение сигнала с выхода выпрямителя больше значения сигнала с выхода блока задания, то на выходе блока сравнения появляется сигнал, который подается на логический элемент и выход к последнему ключу. При открывании ключа источник питания подает ток на катушку, создавая магнитный поток, проходящий через ось колесной пары, оба колеса колесной пары и рельсы, изменяя физико-механические свойства контактной зоны. Увеличивает сцепление металлических тел (колеса с рельсами) и увеличивает коэффициент сцепления между колесами и рельсами.

В программном пакете *Matlab Simulink* [131] была составлена схема управления устройством предупреждения буксования, соответствующая рисунку 4.10. Функциональной блок-схемой устройства предупреждения буксования представлена на рисунке 4.11.

В среде программного комплекса *MTLAB Simulink* датчик продольных ускорений представлен как результат совместной работы блоков «Step» и «Gain», блок измерения разности сигналов представлен блоком «Sum», статистический анализатор сигнала представлен блоком дисперсии «Var», блок «Bandpass» выполняет роль полосового фильтра. Блок сравнения сигналов представлен как блок подсистемы действий «If», это блок подсистемы, предварительно сконфигурированный в качестве отправной точки для создания подсистемы, выполнение которой контролируется блоком «If.» Этот блок вычисляет логическое выражение, а затем, в зависимости от результата вычисления, выдает сигнал действия. Выполнение подсистемы контролируется блоком порта действий, размещенным внутри подсистемы.

Работоспособность системы подтверждается графиками (рисунок 4.12).

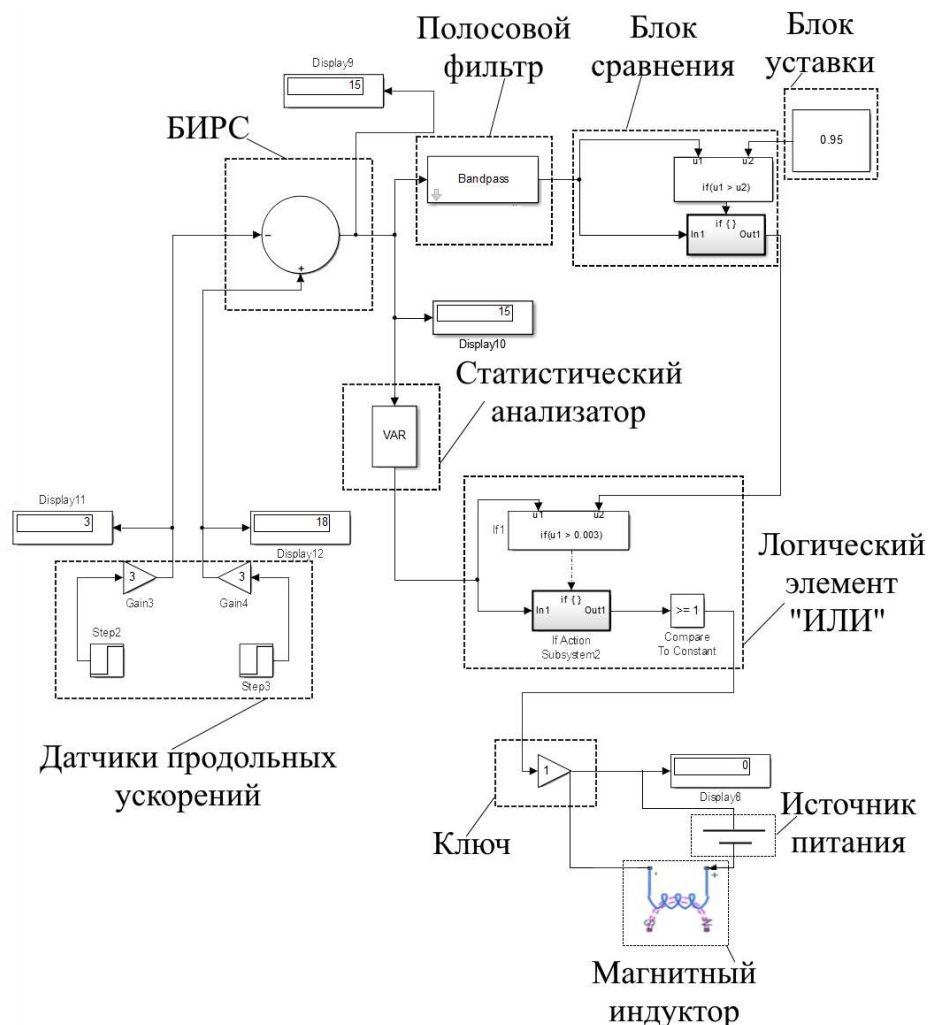
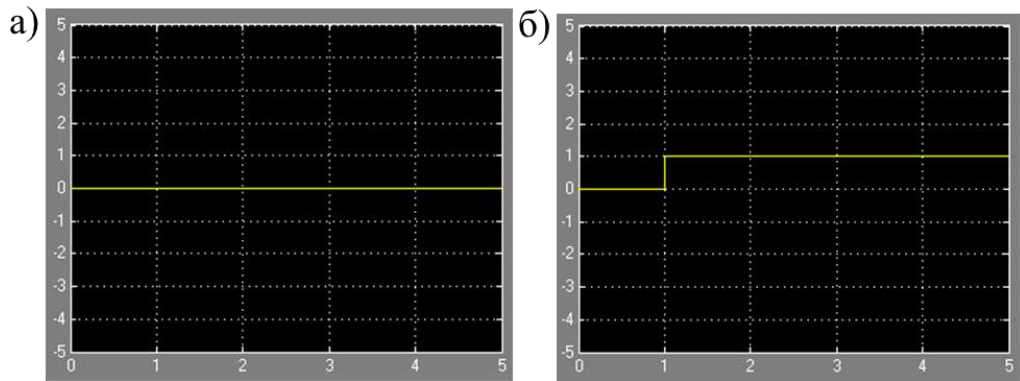


Рисунок 4.11 Функциональная блок-схема системы предупреждения буксования (Simulink)

В случае возникновения переходного режима, после которого может произойти буксование, выходной сигнал из блока «ИЛИ» поступает на вход ключа (рисунок 4.12, б), который представлен блоком «Switch», который, в свою очередь, замыкает цепь источника питания на магнитный индуктор. В противном случае ключ не замыкается, а МУКС не срабатывает (рисунок 4.12, а)



а – отсутствие буксования; б – срабатывание системы в процессе буксования

Рисунок 4.12 – Графики работоспособности системы управления

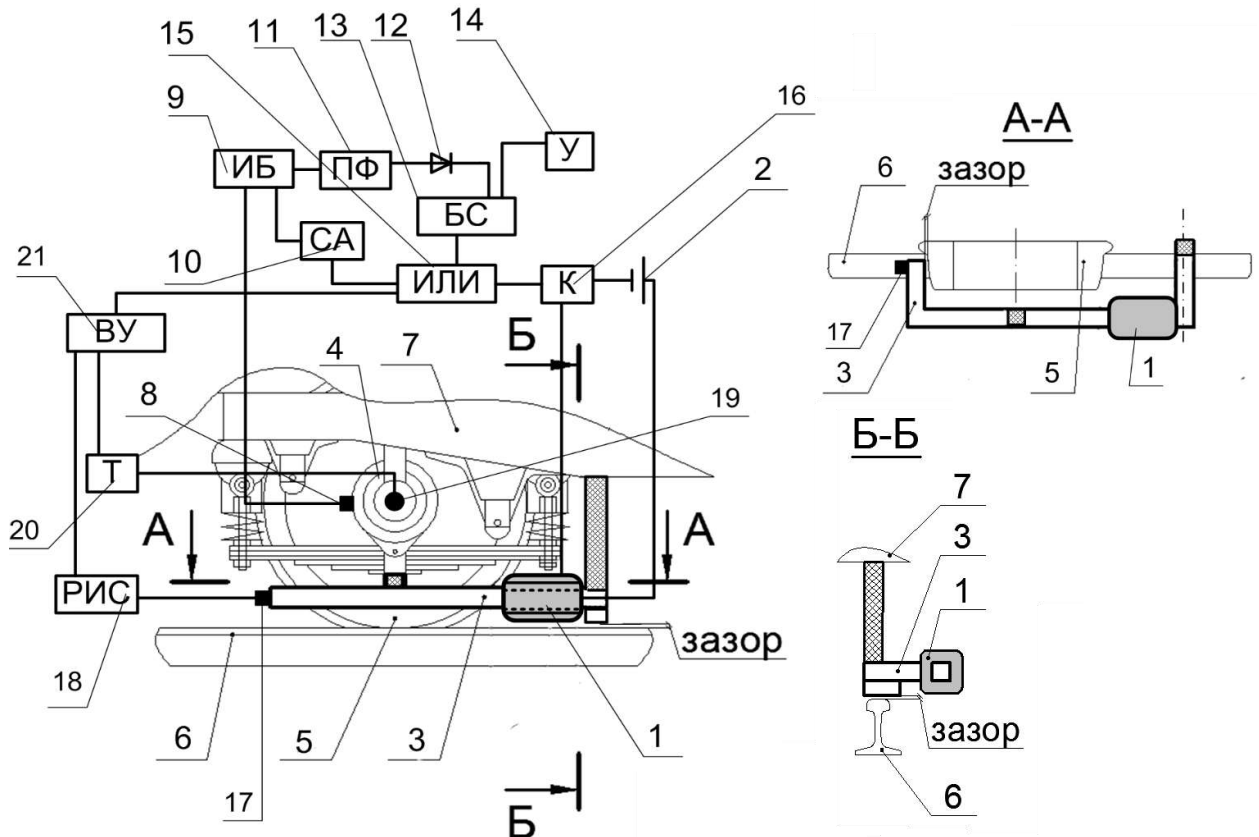
Технико-экономический эффект заключается в том, что ток подается в катушку только при появлении возможности буксования колес, что позволяет снизить расход энергии на питание катушки и на преодоление дополнительного сопротивления движению, вызванного вихревыми токами в движущихся частях экипажной части локомотива, в которых создается магнитный поток, соответственно, приводя к снижению затрат энергии на тягу поездов.

Полученные результаты показывают, что предложенная система предупреждения начала буксования работоспособна. Предложенные технические решения используются при разработке перспективных конструкций отечественного тягового подвижного состава в ОП ООО «ТМХ Инжиниринг» в г. Брянск «Конструкторское бюро «Локомотивы» (ПРИЛОЖЕНИЕ Е).

Взяв за основу результаты, полученные в данной работе совместно с автором работы, была разработана (рисунок 4.13) конструкция устройства для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами [132].

Отличительной особенностью предлагаемого устройства для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами является то, что балансиры одним концом связаны с рамой тележки, один из концов каждого из балансиров

расположен вблизи ободов колес с зазором относительно ободов колес, у каждого из балансиров противоположный конец располагается близко у рельса с зазором, балансиры, в свою очередь, соединены немагнитным креплением с буксой и рамой тележки, электромагнит расположен на балансире и сориентирован напротив диска колеса, а устройство также содержит датчик продольных ускорений, который размещается на конце каждого из балансиров.



- 1 – электромагнит; 2 – источник тока; 3 – балансир; 4 – букса; 5 – колесо; 6 – рельс;
 7 – рама тележки; 8 – датчик продольных ускорений; 9 – измерительный блок;
 10 – анализатор сигналов; 11 – полосовой фильтр; 12 – выпрямитель; 13 – блок сравнения;
 14 – блок уставки; 15 – логический элемент «ИЛИ»; 16 – ключ; 17 – радиолокационный датчик;
 18 – радиолокационный измеритель скорости; 19 – датчик угла поворота;
 20 – электронный тахометр; 21 – вычислительное устройство

Рисунок 4.13 – Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами [132]

Блок измерений, статистический анализатор, блок уставки, выпрямитель, блок сравнения, полосовой фильтр, логический элемент, ключ, радиолокационный датчик размещается на конце балансира, у которого выход соединяется с радиолокационным измерителем скорости, а с буксы сигнал поступает на электронный тахометр, выходы радиолокационного измерителя скорости и

электронного тахометра соединены со входами вычислительного устройства, выход которого также соединен со входом логического элемента

Предлагаемое устройство имеет следующие технические достижения. Благодаря расположению концов балансира вблизи обода колеса и рельса с зазором между ними, совмещению электромагнитов на балансире с диском колеса, большая часть магнитного потока, проходящего через балансир, направляется в сторону колеса, тем самым увеличивая часть потока, проходящего через точку контакта колеса с рельсом, увеличивая сцепление между колесом и рельсом, и это приводит к улучшению эксплуатационных характеристик локомотива. Подавая ток на электромагниты только тогда, когда колеса скользят по рельсам, можно уменьшить потери из-за вихревых токов и снизить затраты на энергию тяги.

4.4 Результаты использования магнитных усилителей коэффициента сцепления при установке на математической модели экипажа тепловоза 2ТЭ25КМ

Математическое моделирование позволило определить направление поиска информативных признаков переходного режима, что описано в пункте 3 текущего раздела.

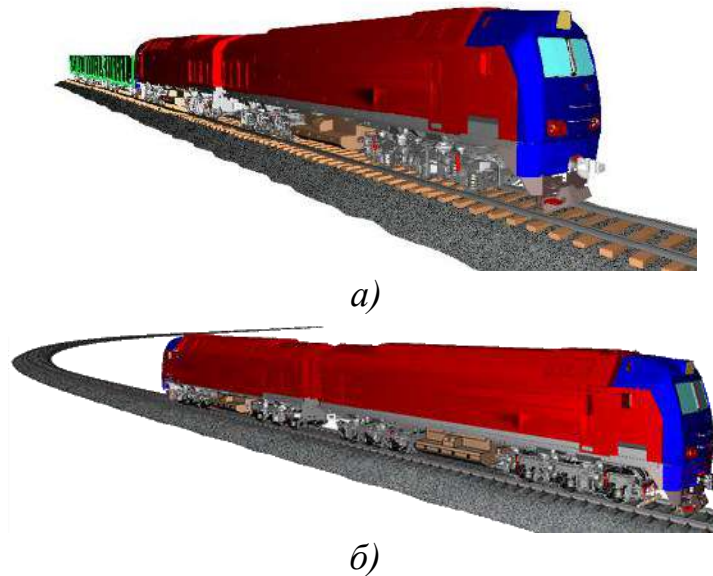
Проведен ряд симуляций на разработанной модели тепловоза 2ТЭ25КМ. Было рассмотрено движение на прямых и криволинейных участках пути на чистых и загрязненных рельсах. [133].

В ходе выполнения диссертационной работы был проведен ряд симуляций на разработанной модели тепловоза 2ТЭ25КМ. Было рассмотрено движение на прямом и кривом участках пути на чистых и загрязненных рельсах (рисунок 4.14).

Встал вопрос определения коэффициента сцепления в пятне контакта между колесом и рельсом для моделирования процессов динамики движения локомотива на пределе по сцеплению необходимо. Анализ отечественной и зарубежной практике показал, что одним из способов определения коэффициента сцепления

является нахождение его по экспериментальным зависимостям, то есть по кривым сцепления.

Указанные параметры сцепления являются идеализированным приближением к реальным. Измерения позволили установить, что реальная функция изменения сил в пятне контакта колеса и рельса обладает стохастическим характером (рисунок 4.15).



а) – прямой участок; б) – криволинейный участок

Рисунок 4.14 – Симуляция движения модели на различных участках пути

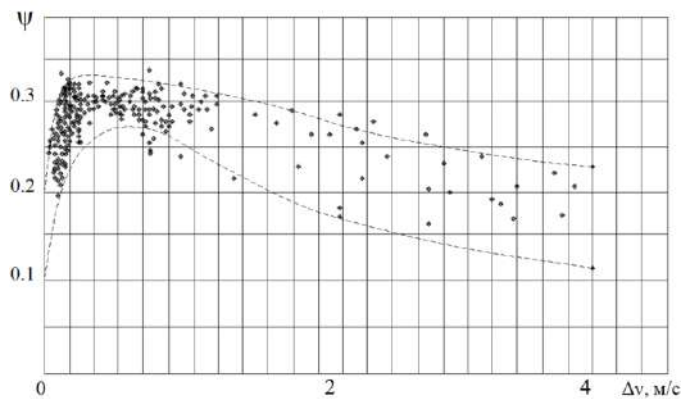


Рисунок. 4.15 – Измеренные значения коэффициента сцепления

На следующем этапе установленные данные были импортированы в *Mathlab Simulink*, где система регулирования подавала сигнал на ключ, который замыкал цепь питания МУКС, намагничивающий ток индукторов для поддержания сцепления за счёт коэффициента трения между поверхностями колеса и рельса.

На заключительном этапе в *UM Loco* повторялся расчёт с заданными значениями коэффициентов трения на поверхностях катания.

На рисунке 4.16 представлен спектр сигнала фрагмента в режиме тяги (1024 точки с момента времени $t_T = -4$ с) и для режима буксования (1024 точки с момента срабатывания РБ, $t_B = 0$).

Таким образом, обозначился еще один информативный частотный диапазон.

Резкое возрастание амплитуд ускорений объясняется продольными колебаниями буксы на поводках (рисунок 4.17-4.19).

По графикам наглядно можно заметить, что с момента срабатывания устройства предупреждения буксования начала буксования, сигнал передается на ключ, который в свою очередь выполняет замыкание цепи на индукторное устройство, с этого момента активируется МУКС, который ликвидирует буксования, на графиках же заметно значительное снижение частот колебаний, из чего получаем вывод о повышении коэффициента трения в зоне контакта системы «колесо-рельс».

Результаты исследований показывают, что коэффициент сцепления является случайной величиной, измеренные значения которой лежат в интервале 0,34–0,42.

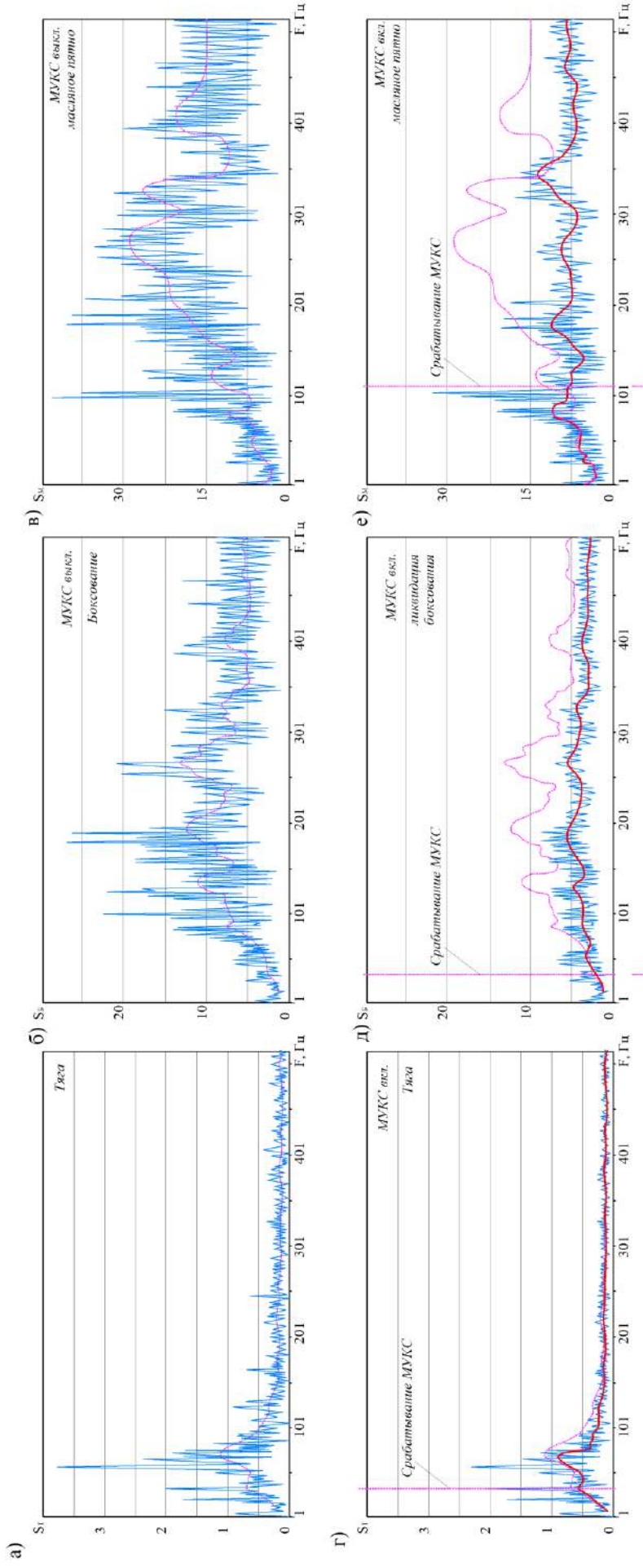
Коэффициент сцепления в системе «колесо – рельс» $f_{кр}$, будет находиться в диапазоне [134]:

$$f_{кр} \in [K_p \cdot (1 - k) \cdot f_{Lmin}; K_p \cdot (1 + k) \cdot f_{Lmax}], \quad 4.2$$

где K_p – коэффициент перехода,

f_{Lmin} , f_{Lmax} – минимальный и максимальный измеренный при испытаниях коэффициент трения.

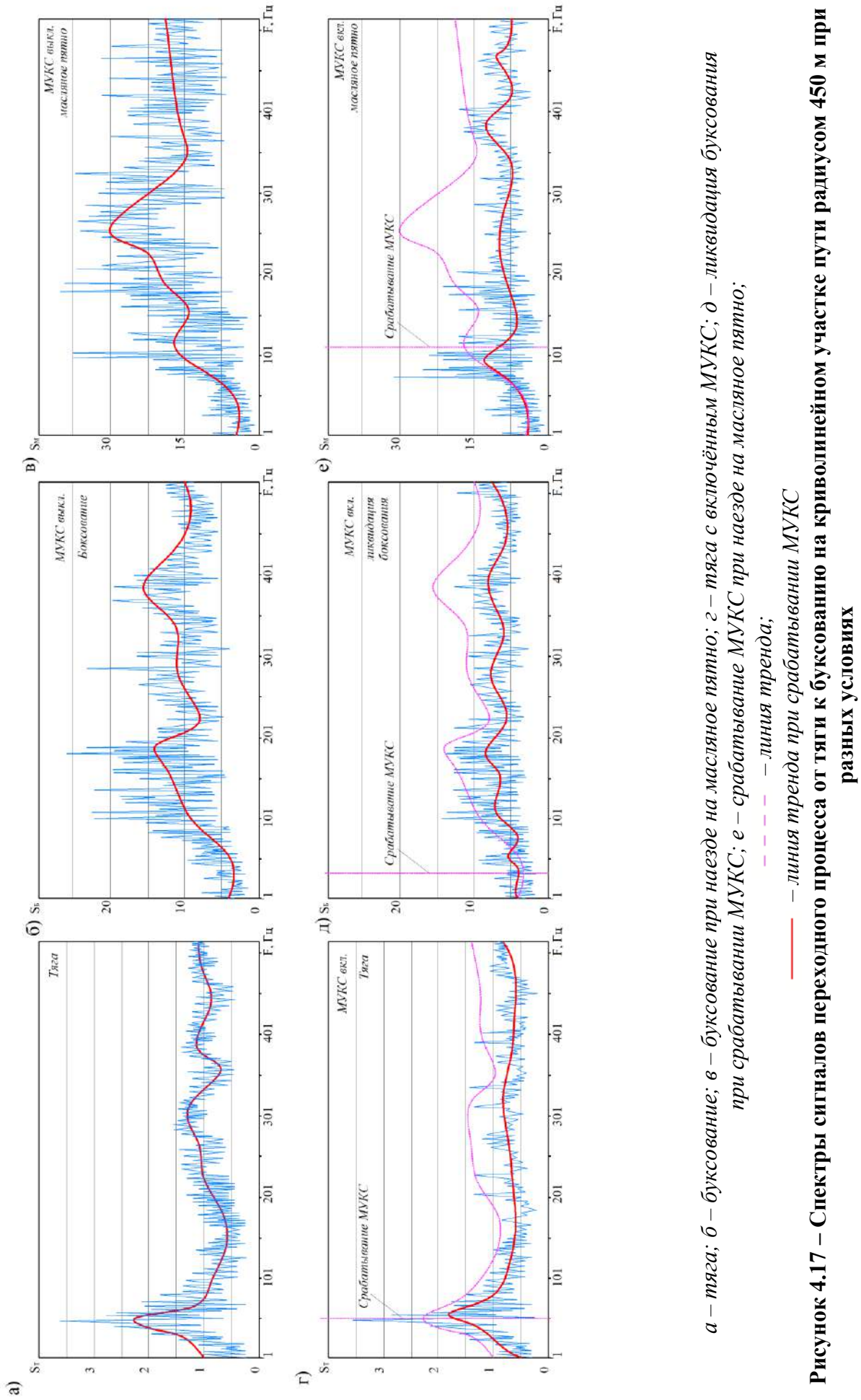
Влияние на скольжение колес по рельсам у локомотивов оказывают также неравенство диаметров колес у одной колесной пары, неточность установки колесных пар в тележке и извилистое движение колесной пары (вызвано конической формой поверхности катания и зазором между гребнем колеса и головкой рельса).



a – тяга; б – буксование; в – буксование при наезде на масляное пятно; г – тяга с включённым МУКС; д – ликвидация буксования при срабатывании МУКС е – срабатывание МУКС при наезде на масляное пятно; ж – срабатывание МУКС при наезде на масляное пятно;

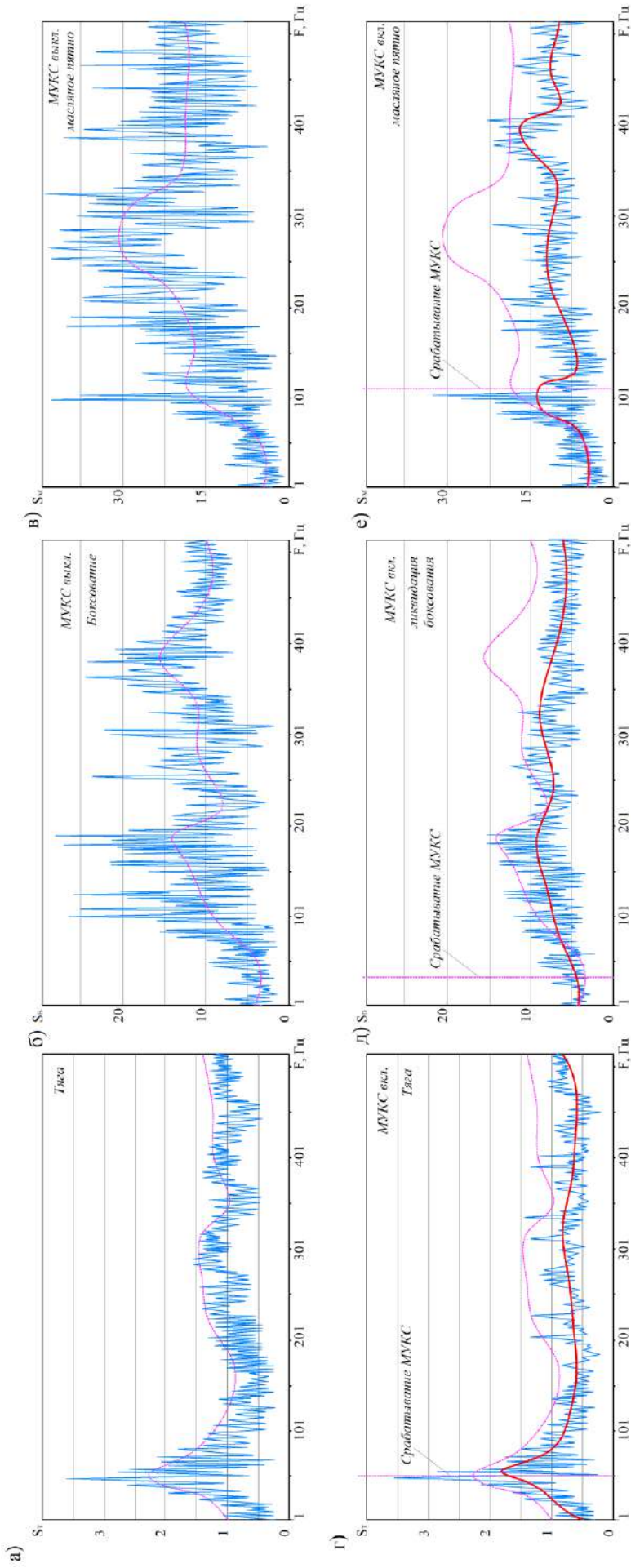
— линия тренда;

Рисунок 4.16 – Спектры сигналов переходного процесса от тяги к буксованию на прямом участке пути при разных условиях



а – тяга; б – буксование; в – буксование при наезде на масляное пятно; г – тяга с включённым МУКС; д – ликвидация буксования при срабатывании МУКС; е – срабатывание МУКС при наезде на масляное пятно; ф – ликвидация буксования при срабатывании МУКС

Рисунок 4.17 – Спектры сигналов переходного процесса от тяги к буксованию на криволинейном участке пути радиусом 450 м при разных условиях



а – тяга; б – боксование; в – боксование при наезде на масляное пятно; г – тяга с включённым МУКС; д – ликвидация боксования при срабатывании МУКС е – срабатывание МУКС при наезде на масляное пятно;

— линия тренда;

— линия тренда при срабатывании МУКС

Рисунок 4.18 – Спектры сигналов переходного процесса от тяги к боксованию на криволинейном участке пути радиусом 350 м при разных условиях

В работе [135] приведена зависимость коэффициента сцепления в системе «колесо-рельс» от относительной скорости проскальзывания. Вначале при малых значениях относительной скорости проскальзывания коэффициент сцепления растёт прямо пропорционально, далее при относительной скорости скольжения от 0,5-0,8 % до 1,5-2 % происходит нарушение линейной зависимости, несмотря на то, что коэффициент сцепления остается высоким, он продолжает рост до максимального значения, после чего начинает понижаться. Установлено, что при дальнейшем повышении, его значение снижается, что, в свою очередь, вероятнее всего, приведёт к значительному уменьшению сцепления – это приведет к интенсивному проскальзыванию, которое называется буксованием.

Ввиду того, что коэффициент сцепления является не линейной величиной, было установлено, что при использовании МУКС коэффициент сцепления увеличивался на величину в пределах от 0,019 до 0,0776 по сравнению с исходными значениями, что позволяет достигнуть коэффициента сцепления $\psi=0,497$.

На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод о возможности использования описанной модели локомотива для обоснования рациональных параметров конструкции системы увеличения коэффициента сцепления колеса и рельса за счёт воздействия магнитного поля на пятно контакта, а также для дальнейшей разработки систем своевременного обнаружения буксования и его предотвращения, необходимо учитывать, что создание таких систем должно выполняться в строгом соответствии с государственными стандартами [136-142].

Результаты исследований влияния магнитного поля на коэффициент сцепления в зоне контакта колеса и рельса внедрены в учебный процесс на кафедре «Подвижной состав железных дорог» БГТУ (ПРИЛОЖЕНИЕ Д)

Прежде всего, следует отметить, что использование методов математического моделирования также имеет разумные ограничения. Поэтому следует признать, что дальнейшие исследования динамических процессов взаимодействия колеса с рельсом в режиме реализации максимальной силы тяги

должны проводиться комплексным методом, использующим экспериментальные данные в качестве основы для разработки алгоритмов распознавания сигналов.

4.5 Выводы по разделу 4

1 Приведено описание объекта исследования, в качестве которого выбран магистральный тепловоз 2ТЭ25КМ производства АО «УК «БМЗ».

2 Дано описание твердотельной динамической модели сцепа двух секций тепловоза, выбранного в качестве объектом исследования.

3 Проведена верификация динамической модели тепловоза путём сопоставления результатов математического моделирования с результатами комплексных приёмочных испытаний тепловоза магистрального 2ТЭ25КМ. Расхождение натуральных испытаний с математическими не превысило 10 %, что подтверждает достоверность данных, которые позволяет получить разработанная модель.

4 Приведены результаты использования МУКС при установке на математической модели экипажа тепловоза 2ТЭ25КМ.

5 В ходе исследований на базе магнитных усилителей коэффициента сцепления было разработано патентоспособное решение системы предупреждения начала буксования и его предотвращения.

6 Результаты исследований, полученные во время выполнения диссертационной работы, показывают, что предложенные магнитные усилители коэффициента сцепления позволяют обеспечить прибавку коэффициента сцепления до 23,2 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Исследованы методы повышения коэффициента сцепления колес локомотива и рельса, проведен анализ их достоинств и недостатков, позволивший принять в качестве рационального метода введение магнитного поля в зону контакта колеса с рельсом.

2 Разработано и изготовлено устройство для намагничивания зоны трения катковой установки, позволившее установить, что изменением положения магнитопроводов можно менять ориентацию вектора магнитного поля, что обеспечивает увеличение коэффициента трения в зоне контакта до 1,7 раза при воздействии магнитного поля и до 1,4 раза после намагничивания.

3 Экспериментально установлено, что при воздействии магнитного поля на образцы происходит изменение микроструктуры материала, обусловленное перемещением дефектов кристаллической решётки, изменением спинового слоя системы, а также откреплением дислокаций от точечного дефекта, перемещающегося ближе к поверхности металла.

4 Предложена методика определения патентоспособных решений магнитных усилителей коэффициента сцепления на основе объектной модели технических решений и разработанной классификации конструктивных особенностей МУКС.

5 Обоснована схема размещения элементов магнитного усилителя коэффициента сцепления на существующем тяговом подвижном составе. Установлена зависимость влияния величины воздушного зазора между индуктором и рельсом на распределение магнитного поля в зоне контакта колеса и рельса, за счёт уменьшения воздушного зазора от 30 мм до 15 мм можно добиться увеличения магнитной индукции в пятне контакта от 0,9 до 1,0 Тл, что позволит добиться наименьших потерь магнитного потока в экипажной части.

6 Предложена принципиальная схема устройства предупреждения и предотвращения буксования, построенная на базе магнитных усилителей коэффициента сцепления.

7 Подтверждена работоспособность и эффективность системы предотвращения буксования. Её применение обеспечивает увеличение коэффициента сцепления до 23,2 % при трогании с места. Достоверность полученных результатов подтверждена удовлетворительным соответствием данных математического моделирования и натурных ходовых испытаний тепловоза 2ТЭ25КМ.

8 Перспективой дальнейшей разработки темы является исследование возможности построения магнитных усилителей коэффициента сцепления на основе использования импульсного магнитного поля, а также создания противобуксовочных систем для вновь разрабатываемых конструкций тягового подвижного состава.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

В диссертационной работе применяются следующие обозначения и сокращения:

БГТУ – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет»;

РУТ (МИИТ) – Федеральное государственной автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»;

УрГУПС – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения»;

ТЭД – тяговый электродвигатель;

КП – колесная пара;

МУКС – магнитный усилитель коэффициента сцепления;

ПФ – полосовой фильтр;

ПУ – пульт управления;

У – блок уставки;

В – выпрямитель;

ДВ – датчик виброскорости;

АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;

БФС – блок формирующий сигнал;

БФЭС – блок формирующий эталонный сигнал;

БИРС – блок измерения разности сигналов;

БС – блок сравнения;

УП – управляемый переключатель;

ИП – источник питания;

АКБ – аккумуляторная батарея;

СА – статистический анализатор сигналов;

И – индикатор

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ивахин, А.И. Стенд для исследования тяговых свойств в системе колесо-рельс железнодорожных транспортных средств / А.И. Ивахин, В.И. Травиничев, Д.И. Петраков // Тяжелое машиностроение. – 2011. – № 4. – С. 2-4.
- 2 Космодамианский, А.С. Магнитное усиление сцепления колес локомотива с рельсами при осевом намагничивании / А.С. Космодамианский, В. О. Корчагин, В. И. Воробьев // Локомотив. – 2022. – № 1(781). – С. 29-31.
- 3 Боуден, Ф.П. Трение и смазка твердых тел / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор; Перевод с англ. Н.М. Михина и А.А. Силина; Под ред. д-ра техн. наук И.В. Крагельского. – Москва: Машиностроение, 1968. – 543 с.
- 4 Воробьев, Д.В. Улучшение фрикционных характеристик пары трения колесо-рельс за счет воздействия на контакт электрического тока и магнитного поля: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Воробьев Дмитрий Владимирович. – Брянск, 2005. – 20 с.
- 5 Буйносов, А.П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: Монография / А.П. Буйносов. – Москва. Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. – 224 с.
- 6 Гаркунов, Д.Н. Методы повышения износостойкости деталей самолетов [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Гаркунов Дмитрий Николаевич. – Москва. 1962. – 18 с.
- 7 Демкин, Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
- 8 Дерягин, Б.В. Что такое трение? / Б.В. Дерягин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Изд-во АН СССР, 1963. – 232 с.
- 9 Петраков, Д.И. Оценка тяговых качеств тепловозов с электропередачей с учетом воздействия электрического тока на зоны контакта колес с рельсами:

автореф. дис. ... кандидата технических наук: 05.22.07 / Петраков Дмитрий Иванович. – Брянск, 2013. – 18 с.

10 Косов, В.С. Применение программного комплекса «Универсальный механизм при создании рельсового подвижного состава / В.С. Косов, Г.С. Михальченко, Д.Ю. Погорелов, А.В. Спириков // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2005. – №8 (90). – С. 45-48.

11 Исаев, И.П. Проблемы сцепления колес локомотива с рельсами / И.П. Исаев; Ю.М. Лужнов – Москва: Машиностроение, 1985. – 238 с.

12 Ишлинский, А.Ю. Механика. Новое в зарубежной науке / ред. серии А.Ю. Ишлинский, Г.Г. Черный. – Москва: Мир, 1975. – 250 с.

13 Kalker, J.J. Wheel-rail wear calculations with the program CONTACT / J.J. Kalker // in G.M.L. Gladwell, H. Ghonen and J. Kalonsek (eds.), Proc. Int. Symp. on Contact Mechanics and Wear of Rail-Wheel Systems II, Kingston, RI, July 1986. – Waterloo Ontario: University of Waterloo Press, 1987. – pp. 3-26.

14 Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – Изд. 2-е перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1968. – 480с.

15 Минов, Д.К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей [Текст] / Д.К. Минов. – Москва: Транспорт, 1965. – 267 с.

16 Погорелов Д.Ю. Методы моделирования динамики железнодорожных колесных пар с учетом упругости в программном комплексе "Универсальный механизм" / Д. Ю. Погорелов, Г. В. Михеев, С. Б. Томашевский, А. Н. Родиков // Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ : Сборник тезисов III научно-технического семинара, Брянск, 06–07 апреля 2016 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2016. – С. 57-59.

17 Валинский, О. С. Метод расчета коэффициента трения в системе колесо - рельс / О. С. Валинский, А. А. Воробьев // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 7. – С. 36-39.

- 18 Самме, Г. В. Фрикционное взаимодействие колесных пар локомотива с рельсами : Монография / Г. В. Самме. – Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте | Маршрут, 2005. – 80 с.
- 19 Боуден, Ф.П. Трение и смазка твердых тел [Текст] / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор; пер. с англ. Н.М. Михина и А.А. Силина, под ред. д-ра техн. наук И.В. Крагельского. – Москва: Машиностроение, 1968. – 543 с.
- 20 Пат. 943053 СССР, МПК В 61 С 15/10 Способы повышения сцепления колес железнодорожного транспорта с рельсами [Текст] / Ю.М. Лужнов и др.; заявитель и патентообладатель Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени институт инженеров железнодорожного транспорта и Коломенский тепловозостроительный завод имени В. В, Куйбышева. – № 3237670/ 27 ; заявл. 24.11.80 ; опубл. 15.07.82, Бюл. №26 – 3 с.
- 21 Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добрынин, В.С. Комбалов. – Москва : 1977. – 526 с.
- 22 Измеров, О.В. Механизмы и системы управления силовых передач транспортных машин: монография. Измеров О.В., Луков Н.М., Космодамианский А.С., Воробьев В.И., Пугачев А.А., Новиков В.Г., Жилин Г.П., Борзенков М.И., Дорофеев О.В. Орел, ОрелГТУ, 2008., 253 с.
- 23 Регулирование трения в контакте колесо-рельс / // Железные дороги мира, 1998. – № 3. – С. 45–47.
- 24 Смазывание рельсов на железных дорогах Северной Америки // Железные дороги мира, 1977. – № 8. – С. 65-66.
- 25 Andrews, H.I. The Adhesion of Electrical Locomotives / H.I. Andrews // The Processing of the Institution of Electrical Engineers. 1955. – Vol. 102. – P/ A, 6.
- 26 Garin, R.V. Improving Rail Adhesion For Diesel Locomotives / R.V. Garin // Paper American Society of Mechanical Engineers. – № 57. –A-268.
- 27 Косиков, С.И. Фрикционные свойства железнодорожных рельсов / С.И. Косиков.// – Москва. : Наука, 1967. – 112 с.
- 28 High-Driver Rail Adhesion. Without Sand // The Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 1955. – Vol. 102, P / A, 6.

29 Бирюков, И.В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог: моногр. / И.В. Бирюков, А.И. Беляев, Е.К. Рыбников. – Москва: Транспорт, 1986. – 256 с.

30 Пат. 893591 СССР, МПК В60В 39/04, В61С 15/10. Устройство для улучшения сцепления колеса с рельсом [Текст] / Протасов А.В., Протасов В.З. ; заявитель и патентообладатель Ростов. ин-т инженеров железнодорожного транспорта. – № 2762876 ; заявл. 07.05.79 ; опубл. 30.12.81, Бюл. № 48 1981. – № 48. – 2 с.

31 Воробьев, В.И. Общие принципы классификации механической части тяговых приводов локомотивов / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.А. Пугачев, Д.А. Бондаренко // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Роголёва. – Брянск: БГТУ, 2015., С. 241-248.

32 Improving steel wheel on steel rail adhesion. Engineering, 1968. – №1.

33 Plasma torch kills for Adhesion areas. // Mod. Railways, 1970. – № 265.

34 Will plasma improve adhesion // Railway locomotives and cars, 1970. – № 8. – P. 144.

35 Доббс, Д. Плазменная горелка применима при низких скоростях движения / Д. Доббс // Железнодорожный журнал, 1969. – № 7. – 98 с.

36 Исследование применения плазменных горелок для повышения сцепления // БЭИ МСЖД, 1973.

37 Воробьев, В. И. Техническая инновационика. Проектирование конкурентоспособных машин / В. И. Воробьев, С. Ю. Радченко, О. В. Измеров [и др.]. – Орел: ФГБОУ ВО "Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс", 2013. – 415 с.

38 Hoffmann, D. et al. Elektrische Bahnen, 2004 – № 8/9. – P. 383 – 388.

39 Barwell, F.T. Surface contact in theory and practice / F.T. Barwell F.T. – Proc. Inst. Mech. Eng., London, 1961. – P. 175.

40 Miller, T.C. Adhesion. Conrention on adhesion. Paper 1. London / T.C. Miller. – P. 1963.

- 41 Керопян, А.М. Развитие теории взаимодействия и обоснование рациональных параметров системы «колесо-рельс» карьерных локомотивов в режиме тяги: дис. ... док. техн. наук : 05.05.06 / Керопян Амбарцум Мкртичевич. – Екатеринбург, 2015 – 235 с.
- 42 Нувиньон, М. Новое в коэффициенте сцепления электровозов / М. Нувиньон, М. Бернар // Бюл. техн.-экон информ. МПС. – 1961. – № 7.
- 43 Astle-Fletchee, M.W. Mechanical Methods of Improving Rail Adhesion. Connection on Adhesion 27th and 28th November / Astle-M.W. Fletchee. – 1963. – P. 12.
- 44 Antipin, D. Ya. Application of the object model in the modelling process of locomotive drive units / D. Ya. Antipin, V. I. Vorobyev, S. O. Kopylov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : electronic edition, Krasnoyarsk, 20–28 октября 2018 года. Vol. 450, Issue 2. – Krasnoyarsk: IOP science, 2018. – P. 42005.
- 45 Curtius, S.W. Neue Erkenntnisse uber die Haftung zwischen Triebrod und Schiene/ S. W. Curtius, A. Kniffler // Elektrische Bahnen. 1950. heft 9. S. 201–210.
- 46 Harris, T.A. An Analytical Method to Predict Sliding in Thrust - Eoaded, angular contact Ball Bearings/ T.A. Harris // Trans/ ASME. Ser.F. – 1971. – V. 93. – №. 1. – P. 17 – 21.
- 47 Hiratsuka, K. The magnetic effect on the wear of metals / K. Hiratsuka, T. Sasakada, S. Norose // Wear. – 1986. – P. 251-261.
- 48 Шипко, М.Н. О влиянии слабых импульсных магнитных полей на процессы упорядочения в прецизионных сплавах системы Fe-Si-Al / М. Н. Шипко, М. А. Степович, В. А. Полетаев, В. Х. Костюк // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2011. – № 5. – С. 49-51.
- 49 Макара, В.А. О влиянии постоянного магнитного поля на электропластический эффект в кристаллах кремния / В. А. Макара, Л. П. Стебленко, Н. Я. Горидько [и др.] // Физика твердого тела. – 2001. – Т. 43. – № 3. – С. 462-465.
- 50 Гаркунов, Д.Н. Триботехника: монография. Москва : Машиностроение, 1985. – 424 с.

51 Гаркунов, Д.Н. О природе повышения износостойкости деталей и инструмента магнитной обработкой. / Д.Н. Гаркунов, Г.И. Суранов, Г.Б. Коптяева. // Трение и износ – 1982. т.3, №2. 327-330 с.

52 Моргунов, Р.Б. Спин-зависимые реакции между дефектами структуры и их влияние на пластичность кристаллов в магнитном поле / Р.Б. Моргунов // Вестник РФФИ. – 2003. – № 2(32) июнь – С. 19-46.

53 Полетаев, В.А. Энергетический анализ влияния магнитного поля на механические свойства стали / В.А. Полетаев, Д.А. Потемкин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета (ИГЭУ). – 2007. – № 3.– С. 8-11.

54 Никитин С.В. Моделирование новых технических решений локомотивов: учебное пособие / С.В. Никитин // Брянск, БИТМ, 1988. – 84 с.

55 Herbert, E. Iron and Steel Institute / E. Herbert. – 1929. – № 2. – 239 p.

56 Диков, А.Г. Исследование влияния магнитного поля на трение и износ /А.Г. Диков, Е.А. Борисова, В.В. Зелинский // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6 – С. 73-74.

57 Chin, K.J. Tribological behavior and surface analysis of magnetized sliding contact XC 48 steel/XC 48 steel / K.J. Chin, H. Zaidi, M.T. Nguyen, P.O. Renault // Wear. – 2001. – P. 470-476.

58 Тихомиров, В.П. Моделирование сцепления колеса с рельсом: монография / В.П. Тихомиров, В.И. Воробьев, Д.В. Воробьев, Г.В. Багров, М.И. Борзенков, И.А. Бутрин. – Орел: Орел ГТУ, 2007. – 127 с.

59 Делюсто, Л. Г. Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях / Л. Г. Делюсто. – Москва : Машиностроение, 2005. – 272 с.

60 Гойхман, Л.В. Экспериментальное исследование температурных процессов в контакте колеса и рельса / Л.В. Гойхман, А.А. Дронов, Ж.Д. Желев, С.Б. Тимаев // Тр. Акад. коммун. хоз-ва. Городской транспорт, 157. – Москва: Транспорт, 1978. С. 23 – 30.

61 Wang, W.J. Investigation on adhesion characteristic of wheel/rail under the magnetic field condition / W. J. Wang, H. F. Zhang, Q. Y. Liu [etc] // Proc IMechE Part J: J Engineering Tribology. – 2015. P. 1-7.

62 Хольм, Р. Электрические контакты [Текст] : Пер. с англ. / Под ред. д-ра техн. наук проф. Д. Э. Брускина и д-ра хим. наук А. А. Рудницкого. – Москва : Изд-во иностр. лит., 1961. – 464 с.

63 Костецкий, Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов, Л.И. Бершадский; под ред. Б.И. Костецкого. - Киев: Техника, 1976. – 292 с.

64 Баранов, А.В. Метод прогнозирования и способы повышения ресурса изнашивающих подвижных сопряжений деталей машин: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 ; 05.02.04 / Баранов В.А. – Ленинград., 1988. – 175 с.

65 Костецкий, Б. И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания / Б.И. Костецкий // Трение и износ. – 1980. – №4. – С. 622-677.

66 Kother, G. Verlauf und Ausnutzung des Haftwertes zwischen Rad und Schiene bei elektrische Triebfahrzeugen / G. Kother // Elektrische Bahnen. 1940. Heft 12. P. 218 – 227.

67 Воробьев, В.И. Выбор объектной модели тягового привода локомотива [Текст] / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.А. Маслов. - Вестник Брянского государственного технического университета. Брянск, БГТУ, 2017. – № 6 (59), С. 69-75.

68 Muller, C. Th. Kraftwirkungen an einem zweiachsigen Triebgestell bei Antrieb der Radsatze durch Gelenkwellen / C. Muller // Glasers Annalen. 1961. Heft 6. S. 203-209.

69 Исследование динамики тягового электродвигателя с упругой резино-металлической подвеской на тепловозе 2ТЭ116: отчет ВНИТИ № И-72-80. – Коломна, 1980. – 46 с. – Гос. № 79017846.

70 Антипин, Д.Я. Классификация динамических явлений в тяговом приводе локомотива / Д. Я. Антипин, Д. А. Бондаренко, О. В. Измеров, М. А. Маслов // Известия Транссиба. – 2016. – № 3(27). – С. 17-23.

71 Пат. № 2496100 С1 Рос. Федерация: МПК G01M 17/00. Стенд для моделирования динамических процессов в тяговом приводе локомотива с электропередачей / В. И. Воробьев, В. Г. Новиков, А. А. Пугачев [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2012109440/11: заявл. 12.03.12: опубл. 20.10.13, Бюл. № 31. – 17 с.

72 Космодамианский, А.С. Тяговый и вспомогательный привод локомотивов с асинхронными двигателями / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А. А. Пугачев // Локомотив. – 2019. – № 3(747). – С. 30-34.

73 Антипин, Д.Я. Устройство для исследования влияния магнитного поля на характеристики пар трения "колесо - рельс" / Д.Я. Антипин, В.И. Воробьев, М.А. Маслов, В.О. Корчагин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2020. – № 1(86). – С. 34-39.

74 Зелинский, В.В. К установлению природы влияния магнитного поля на износостойкость / В. В. Зелинский // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 1(8). – С. 33-36.

75 Малыгин Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. - Москва: Машиностроение, 1989. – 112 с.

76 Кантович, Л. И. Повышение ресурса инструмента и деталей горных машин методом магнитной обработки / Л. И. Кантович, Б. В. Малыгин, К. М. Первов // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 1. – С. 13-15.

77 Постников, С.Н. Электрические явления при трении и резании / С. Н. Постников ; Горьк. политехн. ин-т им. А. А. Жданова. - Горький : Волго-Вят. кн. изд-во, 1975. – 280 с.

78 Павлов, А. CGI-программирование : [Соврем. технология программирования для Интернета] : Учеб. курс / А. Павлов. - СПб. и др. : Питер, 2000. – 414 с.

79 Антипин, Д.Я. Техническая инновационика как метод поиска рациональных решений узлов тягового подвижного состава / Д. Я. Антипин, В. И. Воробьев, М.А. Маслов [и др.]. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2021. – 215 с.

80 Wehner, D.E. Electromagnetic traction increaser. Патент США US2198928 А, 2 декабря 1936. – 3 р.

81 Karel, K. Electromagnetic adhesion means for railroad locomotives. Патент США US3307058 А от 20 января 1964 года . – 5 с.

82 А. с. 653159 СССР, М. Кл.² В 61 С 15/04. Магнитный догрузатель рельсового транспортного средства. / В. В. Мишин, В. А. Зябрев, А. И. Лебедев, В. А. Салов и Э. М. Шляхов. – № 2460851/27 ; заявл. 10.03.77 ; опубл. 25.03.79 , Бюл. № 11. – 3 с.

83 Heinze, John Otto Jr. Magnetic wheel. Патент США US709484 А, 24 февраля 1902 г. – 7 с.

84 А. С. СССР №143426, МПК В 61 С 15/04, 1961. Устройство для увеличения давления колес транспортного средства на рельсы. / В.А Салов. –№ 3253205/27-11 ; заявл. 18.02.81, опубл. 15.04. 83, Бюл. № 14. – 3 с

85 А. с. 653159 СССР, МGR В 61 С 15/04. Магнитный догрузатель рельсового транспортного средства. / В. В. Мишин, В. А. Зябрев, А. И. Лебедев, В. А. Салов и Э. М. Шляхов. – № 2460851/27 ; заявл. 10.03.77 ; опубл. 15.09.84 , Бюл. № 34 (72). – 4 с.

86 Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем: учеб. пособие / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец // Брянск, Изд-во БГТУ, 2004. – 271с.

87 Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений, 3-е изд: Пер. с англ. / Гради Буч, Роберт А. Максимчук, Майкл У. Энгл, Бобби Дж. Янг, Джим Коналлен, Келли А. Хьюстон // Москва : ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 720 с.

88 Воробьев, В.И. 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.

89 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(83). – С. 39-47.

90 Пат. 196905 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами / В. И. Воробьев, О. В. Измеров, М. А. Маслов [и др.]; заявитель и патентообладатель Космодамианский Андрей Сергеевич. – № 2019117486: заявл. 05.06.19: опубл. 19.03.20. Бюл. № 8. – 5 с

91 Коропец, П. А. Прогнозирование боксования колесных пар локомотива по характеристикам динамических процессов в системе "экипаж - тяговый привод - путь": автореф. дис. ... канд. ист. наук : 05.22.07 " / Коропец Петр Алексеевич. – Ростов-на-Дону, 2007. – 18 с.

92 Дорофеев, О.В. Системы автоматизированного проектирования оборудования / О. В. Дорофеев, В. И. Воробьев, М. А. Маслов [и др.]. – Орел : Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2018. – 178 с.

93 Пат. 156444, Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для предотвращения буксования локомотива [Текст] / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Пугачев А.А., Измеров О.В., Бондаренко Д.А., Корчагин В.О. заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2016112634 ; заявл. 04.04.2016 Опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31. – 6 с.

94 Лонгстон мл., Итами. Исследования явления трения-крипа для локомотива // Тр. Амер. общ. инж.-мех.: Конструирование и технология машиностроения. – 1980. – № 3. – Т. 102. – С. 241-248.

95 Пат. 167614 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для предотвращения буксования локомотива / В. И. Воробьев, Д. Я. Антипин, А. А. Пугачев, М. А. Маслов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский

государственный технический университет" – № 2016117353 : заявл. 04.05.2016 : опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1. – 9 с.

96 Пат. 186191 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для предотвращения буксования локомотива / В. И. Воробьев, М. А. Маслов, С. О. Копылов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2018114134 : заявл. 17.04.2018 : опубл. 11.01.2019 Бюл. № 2 . – 9 с.

97 Маслов, М. А. Применение предлагаемых алгоритмов для создания концепции энергосберегающего тягового привода / М. А. Маслов // Новые горизонты : VIII научно-практическая конференция с международным участием. Сборник материалов и докладов, Брянск, 20 марта 2021 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2021. – С. 101-105.

98 Маслов, М. А. Вопросы применения магнитных усилителей сцепления на локомотивах / М. А. Маслов, В. И. Воробьев // Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике : сборник научных трудов 3-й Международной научно-технической конференции, Курск, 07 апреля 2021 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 188-191.

99 Маслов, М. А. Разработка концепции энергосберегающего тягового привода локомотива / М. А. Маслов // Современные проблемы железнодорожного транспорта : Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции, Москва, 07 апреля 2020 года / Под общей редакцией К.А. Сергеева. – Москва: Российский университет транспорта, 2020. – С. 348-353.

100 Корчагин, В.О. Устройство для моделирования трения колеса с рельсом на катковой установке в условиях намагничивания / В. О. Корчагин, В. И. Воробьев, М. А. Маслов // Современные проблемы железнодорожного транспорта : Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции, Москва, 07 апреля 2020 года / Под общей редакцией К.А. Сергеева. – Москва: Российский университет транспорта, 2020. – С. 569-573.

101 Маслов, М. А. Выбор объектной модели устройства для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами / М. А. Маслов // Новые

горизонты : Материалы VII научно-практической конференции с международным участием, Брянск, 20 марта 2020 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2020. – С. 99-103.

102 Маслов, М. А. Совершенствование конструкции магнитных усилителей сцепления колёс локомотива с рельсами при осевом расположении индуктора / М. А. Маслов // Новые горизонты : Материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию БГТУ, Брянск, 21 марта 2019 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2019. – С. 74-79.

103 Маслов, М. А. Применение магнитных усилителей сцепления на локомотивах / М. А. Маслов // Совершенствование транспортных машин : Сборник научных трудов / Под редакцией В.В. Рогалева, В.И. Воробьева. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2019. – С. 139-144.

104 Копылов, С.О. Развитие противобуксовочных систем локомотивов / С. О. Копылов, М. А. Маслов, В. О. Корчагин // Совершенствование транспортных машин : Сборник научных трудов / Под редакцией В.В. Рогалева, В.И. Воробьева. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2019. – С. 75-81.

105 Маслов, М. А. Компоновка магнитных усилителей сцепления колёс с рельсами при использовании вспомогательного магнитопровода / М. А. Маслов, В. О. Корчагин, С. О. Копылов // Совершенствование транспортных машин : сборник научных трудов. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2018. – С. 113-116.

106 Космодамианский, А.С. Повышение энергоэффективности тягового привода подвижного состава железных дорог / А. С. Космодамианский, В. И. Воробьев, М. А. Маслов // Совершенствование транспортных машин : сборник научных трудов. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2018. – С. 117-123.

107 Воробьев, В.И. Устройство для повышения коэффициента сцепления ведущих колес локомотивов с рельсами / В. И. Воробьев, А. С. Космодамианский, М. А. Маслов, В. О. Корчагин // Совершенствование транспортных машин :

сборник научных трудов. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2018. – С. 49-57.

108 Маслов, М. А. Совершенствование конструкции магнитных усилителей сцепления колёс локомотива с рельсами при осевом расположении индуктора / М. А. Маслов, В. О. Корчагин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 4. – С. 71-74.

109 Корчагин, В.О. Стабилизация тяговых качеств локомотивов посредством магнитных усилителей сцепления колес с рельсами / В. О. Корчагин, М. А. Маслов // Повышение эффективности транспортных машин. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2017. – С. 149-154.

110 Пугачев, А.А. Модификация метода простейших технических объектов для серий Патентов оспособных решений узлов локомотива / А. А. Пугачев, А. С. Новиков, М. А. Маслов // Совершенствование транспортных машин : Сборник научных трудов. – Брянск : Брянский государственный технический университет, 2017. – С. 154-157.

111 Antipin, D.Y. Improving the construction of magnetic clutch amplifiers of locomotive wheels with rails / D. Y. Antipin, V. I. Vorobiev, M. A. Maslov // Proceedings of the 4th International conference on industrial engineering ICIE 2018: Lecture notes in mechanical engineering, Москва, 15–18 мая 2018 года. – Москва: Springer International Publishing, 2019. – P. 2331-2338.

112 Antipin, D.Y. Determination of Magnetization Efficiency of Wheel-Rail Contact Zone / D. Y. Antipin, M. A. Maslov, V. O. Korchagin // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019): Conference proceedings. Series: Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME), Sochi, 25 – 29 марта 2019 года. – Cham: Springer International Publishing, 2020. – P. 669-675.

113 Корчагин, В.О. Улучшение тяговых качеств тепловозов воздействием постоянного магнитного поля на контакт трибосистемы колесо - рельс: дис. ... кандидата технических наук: 05.22.07 / Корчагин Вадим Олегович. – Москва, 2017. – 175 с.

114 Пат. 171138 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/04, В61С 15/08. Устройство для увеличения давления колес транспортного средства на рельсы / В. И. Воробьев, Д. Я. Антипин, Д. А. Бондаренко [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2016124242 : заявл. 17.06.2016 : опубл. 22.05.2017 Бюл. № 15 . – 6 с.

115 Пат. 172641 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08, В60L 15/20. Устройство для предотвращения буксования локомотива / Д. Я. Антипин, В. И. Воробьев, М. А. Маслов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2016117354 : заявл. 04.05.2016 : опубл. 18.07.2017 Бюл. № 20 . – 6 с.

116 Пат. 172435 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для предотвращения буксования локомотива / Д. Я. Антипин, В. И. Воробьев, М. А. Маслов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2016117355 : заявл. 04.05.2016 : опубл. 07.07.2017 Бюл. № 19 . – 6 с.

117 Пат. 172474 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для предотвращения буксования локомотива / Д. Я. Антипин, В. И. Воробьев, М. А. Маслов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2016112635 : заявл. 04.04.2016 : опубл. 11.07.2017 Бюл. № 20 . – 6 с.

118 Пат. 183797 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08, В60L 15/20. Устройство для предотвращения буксования локомотива / В. И. Воробьев, Д. Я. Антипин, М. А. Маслов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2016145170 : заявл. 17.11.2016 : опубл. 02.10.2018 Бюл. № 20 . – 6 с.

119 Пат. 185447 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для обнаружения начала буксования колесных пар локомотива / В. И. Воробьев, Д. Я. Антипин, М. А. Маслов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2017120585 : заявл. 13.06.2017 : опубл. 05.12.2018 Бюл. № 34 . – 13 с.

120 Пат. 187010 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08, В60В 39/10. Устройство для увеличения сцепления колес локомотива с рельсами / Д. Я. Антипин, В. И. Воробьев, М. А. Маслов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". –: заявл. 02.11.2017 : опубл. 13.02.2019 Бюл. № 5 . – 8 с.

121 Пат. 187030 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами / Д. Я. Антипин, В. И. Воробьев, М. А. Маслов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО "Брянский государственный технический университет". – № 2017138305 : заявл. 02.11.2017 : опубл. 14.02.2019 Бюл. № 5 . – 8 с.

122 Пат. 196092 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для обнаружения начала буксования колесных пар локомотива и его ликвидации / В. И. Воробьев, М. А. Маслов, О. В. Измеров [и др.]. патентообладатель Космодамианский Андрей Сергеевич. – № 2019108797 : заявл. 27.03.2019 : опубл. 17.02.2020. Бюл. 5. – 8 с.

123 Пат. 202706 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами / А. С. Космодамианский, В. И. Воробьев, М. А. Маслов [и др.]. патентообладатель : Космодамианский Андрей Сергеевич. – № 2020132322 : заявл. 01.10.2020 : опубл. 03.03.2021. Бюл. № 5 . – 8 с.

124 Universal Mechanism [сайт производителя] – Режим доступа: <http://www.umlabor.ru/pages/index.php?id=1>.

125 Программный комплекс моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» версия 3.0. Руководство пользователя. – Брянск, 2006.

126 ГОСТ 11018–2011 Колесные пары тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. [Текст]. – Введ. 2013–01–01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 27 с.

127 Пат. 2071197 РФ, МКИ6 В 60 L 3/10. Устройство обнаружения буксования и юза колес рельсового транспортного средства / А.А. Павленко,

А.П. Павленко, В.Б. Клепников и др.: патентообладатель Павленко Альберт Прокофьевич : – № 94044536/11; заявл. 14.12.94; опубл. 27.12.96, Бюл. № 36. – 7 с.

128 Пат. 552016 Швеции, М. Кл. В 60 L 3/10, В 61 С 15/12. Устройство для защиты от боксования рельсового экипажа / Ларс-Олоф Нильссон Фредрик Шмитерле Бу Седерберг : патентообладатель : Альменна свенска электриска актиеболагет . – № 2010497/11 заявл. 07.03.74 опубл. 18.10.77; Бюл. №11. – 7 с.

129 Пат. 94042987 РФ, МПК В 60 L 3/10. Способ обнаружения и прекращения боксования колесной пары рельсового транспортного средства. / В.П. Гриневич : заявитель : Научно-исследовательский институт тепловозов и путевых машин. – № 94042987/11 заявл. 07.12.94, опубл. 27.01.97. Бюл. №1. – 3 с.

130 Лысак, В.А. Крутильные колебания колесных пар локомотивов, возникающие при буксовании / В.А. Лысак // Исследования динамики локомотивов: тр. ВНИТИ. – Коломна, 1966. – С. 101-108.

131 Солонина, А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Simulink / А. И. Солонина. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.

132 Пат. 202349 U1 Рос. Федерация: МПК В61С 15/08, В60L 3/10. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами / А. С. Космодамианский, В. И. Воробьев, М. А. Маслов [и др.] : патентообладатель : Космодамианский Андрей Сергеевич. – № 2020134875: заявл. 23.10.2020: опубл. 12.02.2021. Бюл. №5. – 9 с.

133 Тихомиров, В.П. Метод прогнозирования буксования путем анализа характеристик контакта колеса и рельса / В.П. Тихомиров, А.Г. Стриженок, В.О. Корчагин, О.В. Измеров // Вестник БГТУ. – 2016. – №4 (52). – С. 57-65.

134 Валинский О.С. Улучшение тяговых характеристик электровозов с использованием активатора трения в системе "колесо-рельс": автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Валинский Олег Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2022. – 17 с.

135 Нехаев, В. А. Оптимизация режимов ведения поезда с учетом критериев безопасности движения (методы и алгоритмы): дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07 / Нехаев Виктор Алексеевич. – Омск, 2000. – 352 с.

136 ГОСТ 34673.1 – 2020. Тяговый подвижной состав железнодорожный. Часть 1. Методы контроля электротехнических параметров. Технические требования [Текст]. – Введ. 2021–03–01. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 37 с.

137 ГОСТ 34673.2–2020. Тяговый подвижной состав железнодорожный. Часть 2. Методы испытаний по защите при аварийных процессах и по измерению нагрева электрооборудования. Технические требования [Текст]. – Введ. 2021–03–01. – М. : Стандартинформ, 2020. – 16 с.

138 ГОСТ 34394-2018. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав. Требования пожарной безопасности [Текст]. – Введ. 2018–12–01. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 16 с.

139 ГОСТ Р 54461-2011. Надежность железнодорожного тягового подвижного состава. Термины и определения. [Текст]. – Введ. 2012–07–01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 20 с.

140 ГОСТ Р 55513-2013 Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам. [Текст]. – Введ. 2014–07–01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 42 с.

141 ГОСТ Р 55514-2013. Национальный стандарт Российской Федерации локомотивы. Методика динамико-прочностных испытаний. [Текст]. – Введ. 2014–07–01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 14 с.

142 ГОСТ 33436.3-1–2015 Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Часть 3-1. Железнодорожный подвижной состав. Требования и методы испытаний. [Текст]. – Введ. 2013–01–01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 27 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Копии патентов полученных при написании диссертационной работы



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 171138

Устройство для увеличения давления колес транспортного средства на рельсы

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "Брянский государственный технический университет" (RU)**

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2016124242

Приоритет полезной модели 17 июня 2016 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 22 мая 2017 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 17 июня 2026 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев Г.П. Излиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 172435

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БУКСОВАНИЯ
ЛОКОМОТИВА**

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "Брянский государственный
технический университет" (RU)**

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2016117355

Приоритет полезной модели 04 мая 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 07 июля 2017 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 04 мая 2026 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 172641

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БУКСОВАНИЯ
ЛОКОМОТИВА**

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "Брянский государственный
технический университет" (RU)**

Авторы: **Антипин Дмитрий Яковлевич (RU), Воробьев
Владимир Иванович (RU), Измеров Олег Васильевич (RU),
Бондаренко Денис Андреевич (RU), Корчагин Вадим Олегович
(RU), Маслов Максим Александрович (RU), Пугачев Александр
Анатольевич (RU), Редя Никита Александрович (RU)**

Заявка № 2016117354

Приоритет полезной модели 04 мая 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 18 июля 2017 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 04 мая 2026 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 183797

Устройство для предотвращения буксования локомотива

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "Брянский государственный
технический университет" (RU)**

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2016145170

Приоритет полезной модели 17 ноября 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 02 октября 2018 г.Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 17 ноября 2026 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 185447

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НАЧАЛА
БУКСОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВА**

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "Брянский государственный
технический университет" (RU)**

Авторы: **Воробьев Владимир Иванович (RU), Антипин
Дмитрий Яковлевич (RU), Копылов Степан Олегович (RU),
Измеров Олег Васильевич (RU), Маслов Максим
Александрович (RU), Корчагин Вадим Олегович (RU),
Шорохов Сергей Геннадьевич (RU)**

Заявка № 2017120585

Приоритет полезной модели 13 июня 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 05 декабря 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 13 июня 2027 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 186191

Устройство для предотвращения буксования локомотива

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "Брянский государственный
технический университет" (RU)**

Авторы: **Воробьев Владимир Иванович (RU), Маслов Максим
Александрович (RU), Копылов Степан Олегович (RU),
Измеров Олег Васильевич (RU), Космодамианский Андрей
Сергеевич (RU), Воробьев Дмитрий Владимирович (RU)**

Заявка № 2018114134

Приоритет полезной модели 17 апреля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 11 января 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 17 апреля 2028 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 187010

**Устройство для увеличения сцепления колес локомотива
с рельсами**

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "Брянский государственный
технический университет" (RU)**

Авторы: **Антипин Дмитрий Яковлевич (RU), Воробьев
Владимир Иванович (RU), Маслов Максим Александрович
(RU), Измеров Олег Васильевич (RU), Пугачев Александр
Анатольевич (RU), Ионкина Анастасия Дмитриевна (RU)**

Заявка № 2017138306

Приоритет полезной модели 02 ноября 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 13 февраля 2019 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 02 ноября 2027 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 187030

Устройство для увеличения сцепления ведущих колес
локомотива с рельсами

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "Брянский государственный
технический университет" (RU)**

Авторы: **Антипин Дмитрий Яковлевич (RU), Воробьев
Владимир Иванович (RU), Маслов Максим Александрович
(RU), Измеров Олег Васильевич (RU), Космодамианский
Андрей Сергеевич (RU), Надточей Дмитрий Григорьевич
(RU)**

Заявка № 2017138305

Приоритет полезной модели 02 ноября 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 14 февраля 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 02 ноября 2027 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Сравнение результатов математического моделирования с результатами ходовых испытаний тепловоза 2ТЭ25КМ

Натурные испытания

Данные, полученные с помощью

математической модели

Прямой ход

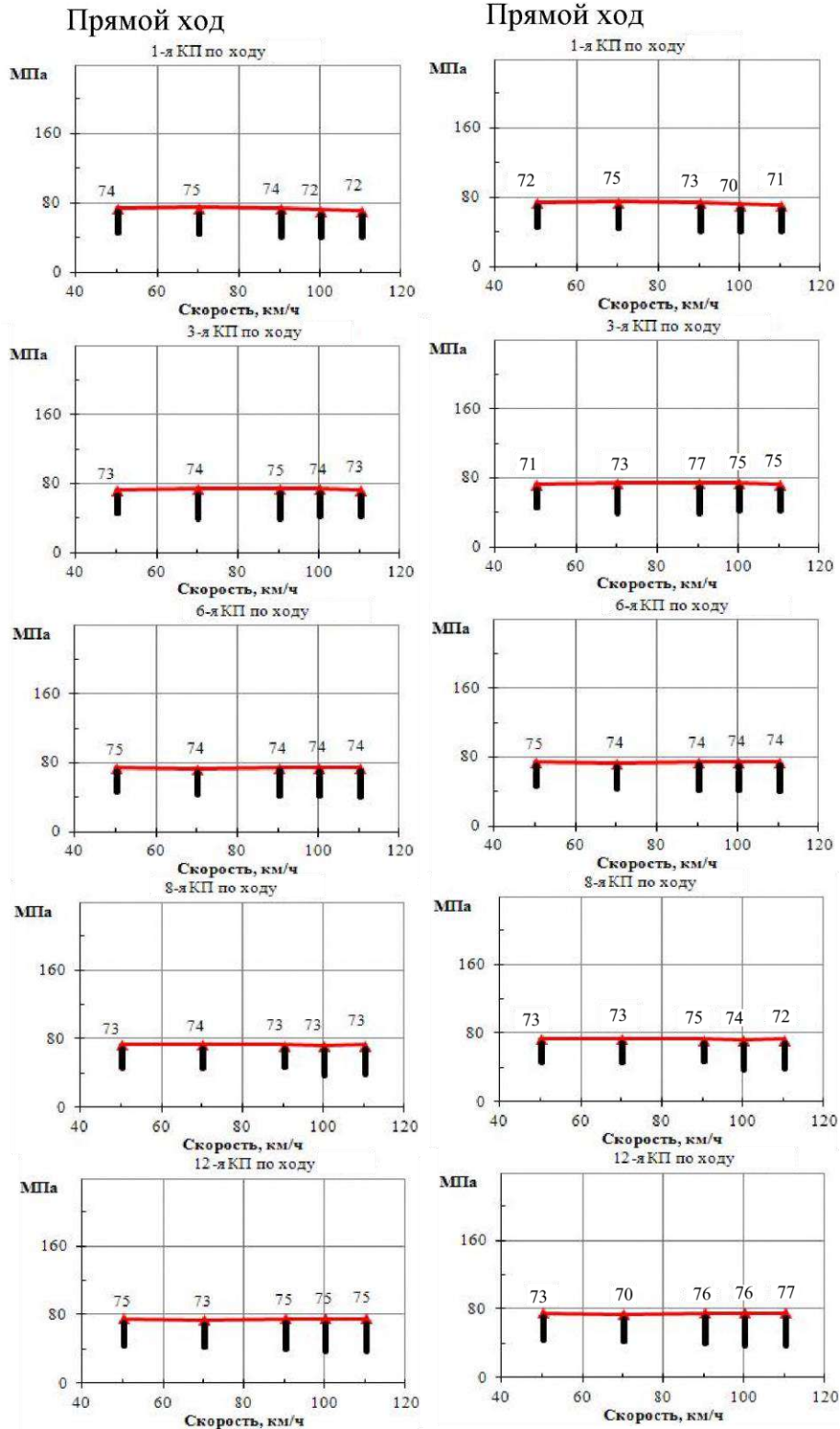


Рисунок Б.1 – Напряжения на внутренней кромке подошвы рельса при движении тепловоза 2ТЭ25КМ по прямому участку пути

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Натурные испытания

Данные, полученные с помощью
математической модели

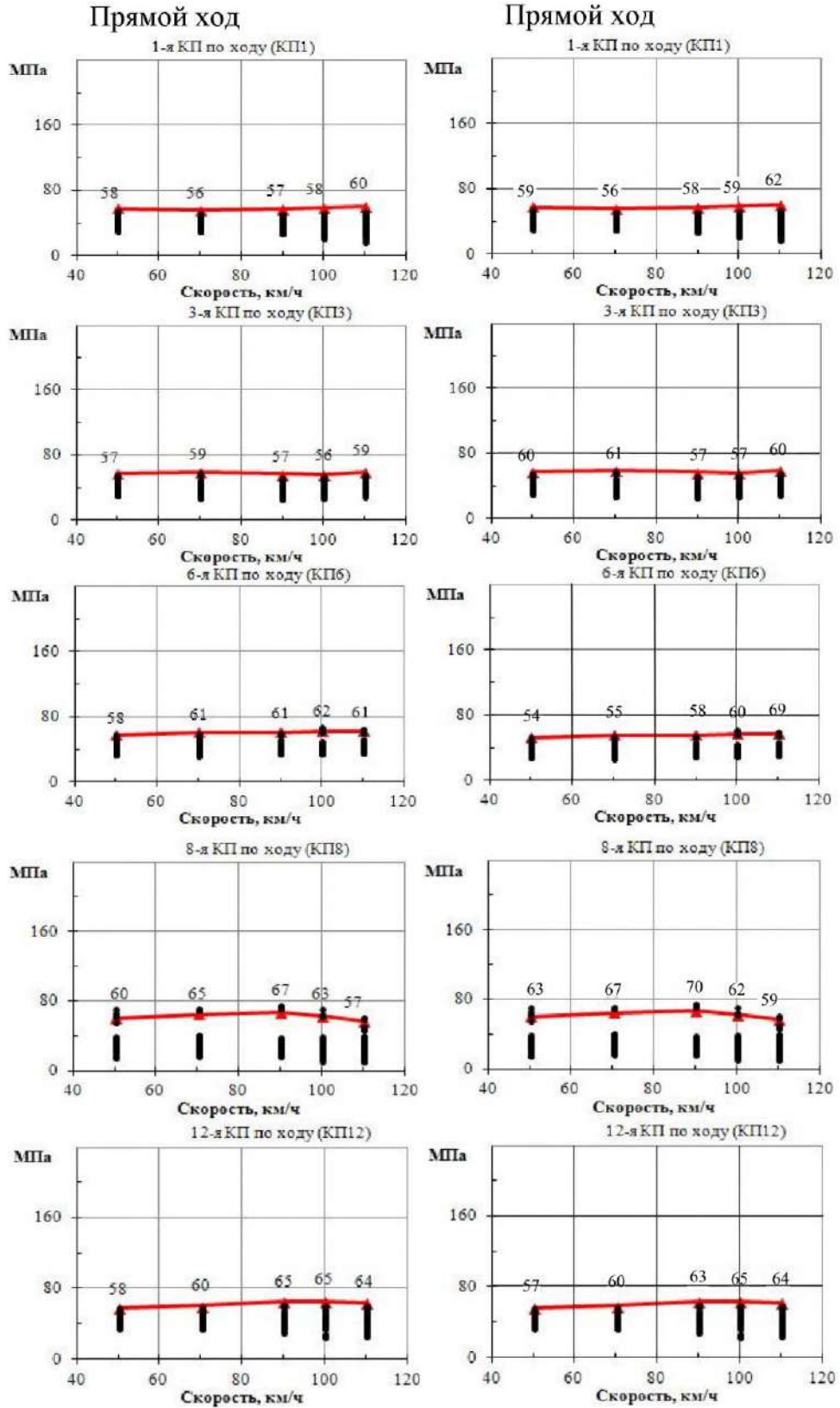


Рисунок Б.2 – Напряжения в наружной кромке подошвы рельса при движении тепловоза 2ТЭ25КМ по прямому участку пути

Натурные испытания

Данные, полученные с помощью математической модели

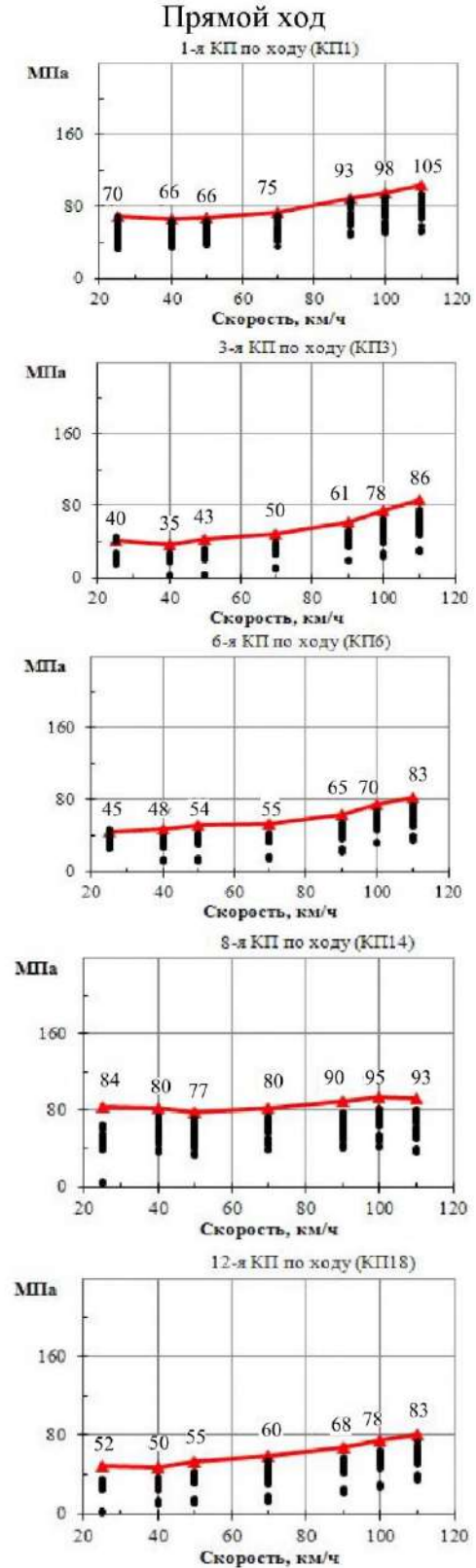
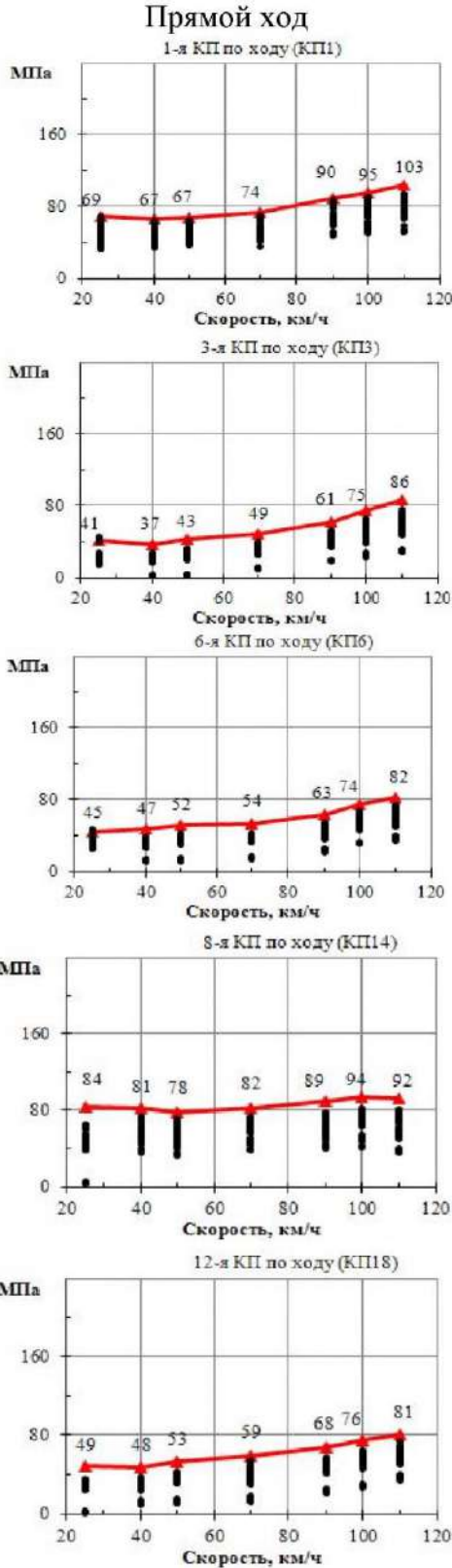


Рисунок Б.3 – Напряжения в наружной кромке подошвы рельса при движении тепловоза 2ТЭ25КМ по кривой радиусом 450 м

Натурные испытания

Данные, полученные с помощью математической модели

Прямой ход



Прямой ход

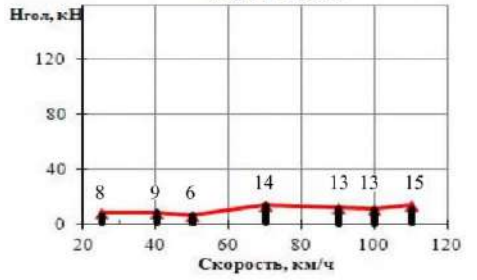
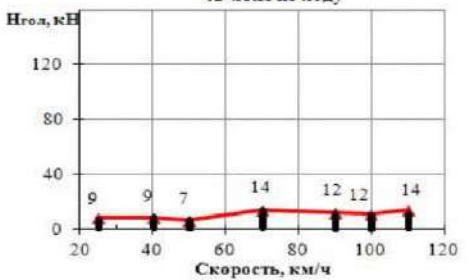
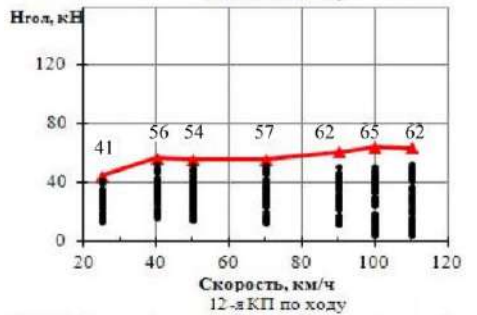
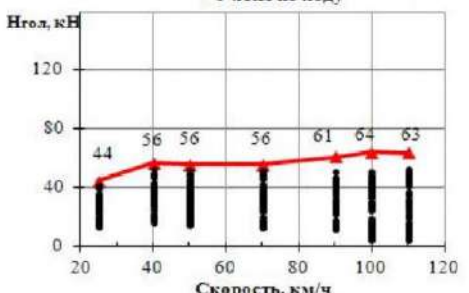
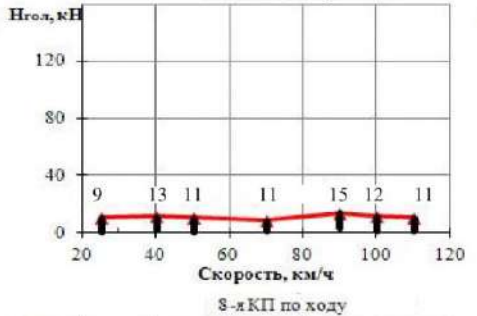
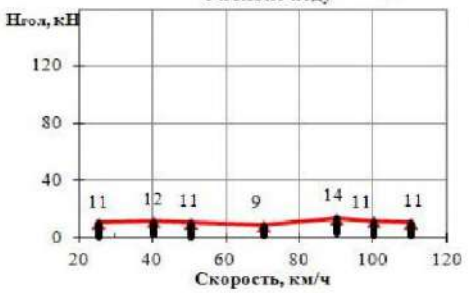
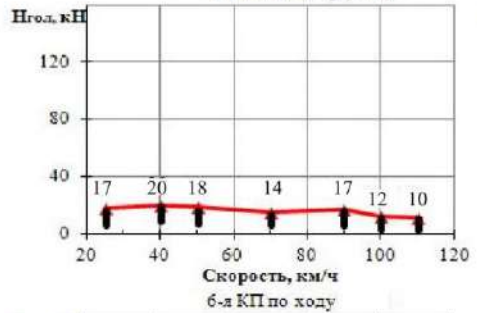
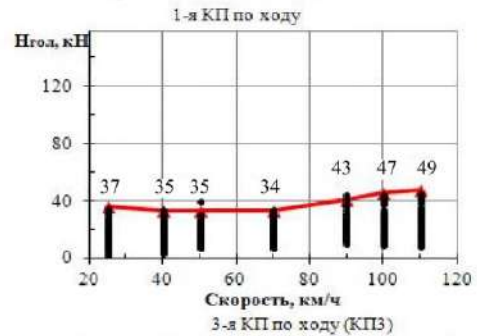


Рисунок Б.4 – Боковые силы, возникающие при движении тепловоза 2ТЭ25КМ по криволинейному участку пути радиусом 450 м

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Протоколы измерения шероховатостей образцов


 НИИИзмерения		БВ-7669М		зав. № 9	
Протокол измерения шероховатости					
Деталь		Дата		Время	
обр 1		2020.03.12		10-37-59	
Условия измерения					
Фильтр	Баз. длина (λ_c), мм	$\frac{\lambda_c}{\lambda_s}$	Длина оценки		Уровень сечения профиля, %
			x λ_c	мм	
Gauss (M1)	0,08	30	5 (5)	0,40	50
Профиль шероховатости					
					
Параметры шероховатости					
Ra = 0,157 мкм		Rsk = 0,254		Lo = 0,080 мм	
Rz не определено		Rku = 1,988		lo = 1,001	
Rmax = 0,665 мкм				D = 37,128 1/мм	
Rq = 0,185 мкм		Sm = 0,028 мм			
Rp = 0,327 мкм		S = 0,012 мм		t50 = 51,5 %	
Rv = 0,338 мкм		$\lambda_q = 0,022$ мм		$\Delta q = 0,053$	
Rc = 0,538 мкм		$\lambda_a = 0,023$ мм		$\Delta a = 0,043$	

Рисунок В.1 – Протокол измерения шероховатости образца 1 до намагничивания


 НИИИзмерения		БВ-7669М		зав. № 9	
Протокол измерения шероховатости					
Деталь		Дата		Время	
обр 2		2020.03.12		10-36-38	
Условия измерения					
Фильтр	Баз. длина (λ_c), мм	$\frac{\lambda_c}{\lambda_s}$	Длина оценки		Уровень сечения профиля, %
			x λ_c	мм	
Gauss (M1)	0,08	30	5 (5)	0,40	50
Профиль шероховатости					
					
Параметры шероховатости					
Ra = 0,054 мкм	Rsk = -0,410	Lo = 0,080 мм			
Rz не определено	Rku = 2,344	lo = 1,000			
Rmax не определено		D не определено			
Rq = 0,063 мкм	Sm не определено				
Rp не определено	S = 0,008 мм	tp не определено			
Rv не определено	$\lambda_q = 0,036$ мм	$\Delta q = 0,012$			
Rc не определено	$\lambda_a = 0,041$ мм	$\Delta a = 0,009$			

Рисунок В.2 – Протокол измерения шероховатости образца 2 до намагничивания

 НИИИзмерения		БВ-7669М		зав. № 9	
Протокол измерения шероховатости					
Деталь		Дата		Время	
обр 3		2020.03.12		10-17-11	
Условия измерения					
Фильтр	Баз. длина (λ_c), мм	$\frac{\lambda_c}{\lambda_s}$	Длина оценки		Уровень сечения профиля, %
			x λ_c	мм	
Gauss (M1)	0,08	30	5 (5)	0,40	50
Профиль шероховатости					
					
Параметры шероховатости					
Ra = 0,105 мкм	Rsk = 0,406	Lo = 0,080 мм			
Rz не определено	Rku = 2,094	lo = 1,001			
Rmax = 0,420 мкм		D = 62,271 1/мм			
Rq = 0,123 мкм	Sm = 0,017 мм				
Rp = 0,228 мкм	S = 0,007 мм	t50 = 42,0 %			
Rv = 0,191 мкм	$\lambda_q = 0,019$ мм	$\Delta q = 0,041$			
Rc = 0,246 мкм	$\lambda_a = 0,021$ мм	$\Delta a = 0,031$			

Рисунок В.3 – Протокол измерения шероховатости образца 3 до намагничивания

 НИИИзмерения		БВ-7669М		зав. № 9	
Протокол измерения шероховатости					
Деталь			Дата		Время
обр 4			2020.03.12		10-21-48
Условия измерения					
Фильтр	Баз. длина (λ_c), мм	$\frac{\lambda_c}{\lambda_s}$	Длина оценки		Уровень сечения профиля, %
			х λ_c	мм	
Gauss (M1)	0,08	30	5 (5)	0,40	50
Профиль шероховатости					
					
Параметры шероховатости					
Ra = 0,056 мкм	Rsk = -0,186	Lo = 0,080 мм			
Rz не определено	Rku = 3,626	lo = 1,000			
Rmax = 0,332 мкм		D = 59,603 1/мм			
Rq = 0,074 мкм	Sm = 0,022 мм	t50 = 65,8 %			
Rp = 0,138 мкм	S = 0,008 мм	$\Delta q = 0,028$			
Rv = 0,194 мкм	$\lambda q = 0,018$ мм	$\Delta a = 0,018$			
Rc = 0,168 мкм	$\lambda a = 0,020$ мм				

Рисунок В.4 – Протокол измерения шероховатости образца 4 до намагничивания

 НИИИзмерения		БВ-7669М		зав. № 9	
Протокол измерения шероховатости					
Деталь			Дата		Время
обр 1			2020.03.12		12-21-42
Условия измерения					
Фильтр	Баз. длина (λ_c), мм	$\frac{\lambda_c}{\lambda_s}$	Длина оценки		Уровень сечения профиля, %
			x λ_c	мм	
Gauss (M1)	0,08	30	5 (5)	0,40	50
Профиль шероховатости					
					
Параметры шероховатости					
Ra = 0,052 мкм	Rsk = -0,186	Lo = 0,080 мм			
Rz не определено	Rku = 2,626	lo = 1,000			
Rmax = 0,332 мкм		D = 39,603 1/мм			
Rq = 0,073 мкм	Sm = 0,022 мм	t50 = 63,3 %			
Rp = 0,138 мкм	S = 0,008 мм	$\Delta q = 0,028$			
Rv = 0,197 мкм	$\lambda q = 0,017$ мм	$\Delta a = 0,038$			
Rc = 0,268 мкм	$\lambda a = 0,020$ мм				

Рисунок В.5 – Протокол измерения шероховатости образца 1 после намагничивания

 НИИИзмерения		БВ-7669М		зав. № 9	
Протокол измерения шероховатости					
Деталь		Дата		Время	
обр 2		2020.03.12		12-36-38	
Условия измерения					
Фильтр	Баз. длина (λ_c), мм	$\frac{\lambda_c}{\lambda_s}$	Длина оценки		Уровень сечения профиля, %
			x λ_c	мм	
Gauss (M1)	0,08	30	5 (5)	0,40	50
Профиль шероховатости					
					
Параметры шероховатости					
Ra = 0,041 мкм		Rsk = -0,410		Lo = 0,080 мм	
Rz не определено		Rku = 2,341		lo = 1,000	
Rmax не определено		Sm не определено		D не определено	
Rq = 0,063 мкм		S = 0,008 мм		tr не определено	
Rp не определено		$\lambda_q = 0,036$ мм		$\Delta q = 0,012$	
Rv не определено		$\lambda_a = 0,041$ мм		$\Delta a = 0,009$	
Rc не определено					

Рисунок В.6 – Протокол измерения шероховатости образца 2 после намагничивания


 НИИИзмерения		БВ-7669М		зав. № 9	
Протокол измерения шероховатости					
Деталь		Дата		Время	
обр 3		2020.03.12		12-22-31	
Условия измерения					
Фильтр	Баз. длина (λс), мм	$\frac{\lambda_c}{\lambda_s}$	Длина оценки		Уровень сечения профиля, %
			х λс	мм	
Gauss (M1)	0,08	30	5 (5)	0,40	50
Профиль шероховатости					
					
Параметры шероховатости					
Ra = 0,023 мкм	Rsk = -0,040	Lo = 0,080 мм			
Rz не определено	Rku = 2,495	lo = 1,000			
Rmax = 0,121 мкм		D = 64,593 1/мм			
Rq = 0,028 мкм	Sm = 0,016 мм	t50 = 51,4 %			
Rp = 0,056 мкм	S = 0,007 мм	Δq = 0,011			
Rv = 0,065 мкм	λq = 0,016 мм	Δa = 0,008			
Rc = 0,065 мкм	λa = 0,018 мм				

Рисунок В.7 – Протокол измерения шероховатости образца 3 после намагничивания

 НИИИзмерения		БВ-7669М		зав. № 9	
Протокол измерения шероховатости					
Деталь		Дата		Время	
обр 4		2020.03.12		12-20-25	
Условия измерения					
Фильтр	Баз. длина (λ_c), мм	$\frac{\lambda_c}{\lambda_s}$	Длина оценки		Уровень сечения профиля, %
			x λ_c	мм	
Gauss (M1)	0,08	30	5 (5)	0,40	50
Профиль шероховатости					
					
Параметры шероховатости					
Ra = 0,041 мкм		Rsk = -0,433		Lo = 0,080 мм	
Rz не определено		Rku = 3,562		lo = 1,000	
Rmax = 0,182 мкм				D = 42,255 1/мм	
Rq = 0,053 мкм		Sm = 0,025 мм			
Rp = 0,059 мкм		S = 0,007 мм		t50 = 70,5 %	
Rv = 0,124 мкм		$\lambda_q = 0,021$ мм		$\Delta q = 0,015$	
Rc = 0,096 мкм		$\lambda_a = 0,022$ мм		$\Delta a = 0,011$	

Рисунок В.8 – Протокол измерения шероховатости образца 4 после намагничивания

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Документ о внедрении результатов работы в ООО «Дипром»

УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор

ООО «Дипром»



д.т.н., доц. А.П. Болдырев

АКТ о внедрении

Настоящим актом подтверждается, что предложенная в диссертационной работе Маслова М.А. «Обоснование технических решений системы предотвращения буксования локомотива за счет воздействия магнитного поля» методика формирования патентоспособных решений магнитных усилителей коэффициента сцепления на основе объектной модели технических решений и разработанной классификации конструктивных особенностей магнитных усилителей коэффициента сцепления внедрена и используется нашим предприятием при создании инновационных устройств повышения эффективности и безопасности технических средств железнодорожного транспорта.

Главный инженер
ООО «Дипром»

к.т.н. П.Д. Жиров

ПРИЛОЖЕНИЕ Д**Документ о внедрении результатов работы в учебный процесс кафедры
«Подвижной состав железных дорог»
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»**


УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор
ФГБОУ ВО «Брянский государственный
технический университет»
к.т.н., доц. В.М. Сканцев

АКТ о внедрении

Настоящим подтверждаем, что материалы диссертации соискателя по кафедре «Подвижной состав железных дорог» М.А. Маслова «Обоснование технических решений системы предотвращения буксования локомотива за счет воздействия магнитного поля» внедрены в учебный процесс на кафедре «Подвижной состав железных дорог».

Результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния магнитного поля на коэффициент сцепления в зоне контакта колеса и рельса, используются при изучении дисциплин «Теория и конструкция локомотивов», «Электрические машины» и «Общий курс железнодорожного транспорта» и опубликованы в учебном пособии «Системы автоматизированного проектирования оборудования».

Заведующий кафедрой «ПСЖД»
ФГБОУ ВО «Брянский государственный
технический университет»



к.т.н., доц. А.А. Лагутина

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Документ о внедрении результатов работы в ОП ООО «ТМХ Инжиниринг»
в г. Брянск «Конструкторское бюро «Локомотивы»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ОП ООО «ТМХ Инжиниринг»
в г. Брянск «Конструкторское бюро
«Локомотивы»

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'А.Ю. Бойко', written over a horizontal line.

А.Ю. Бойко

АКТ о внедрении

Настоящим актом подтверждается, что предложенные в диссертационной работе Маслова М.А. «Обоснование технических решений систем предотвращения буксования локомотива за счет воздействия магнитного поля» технические решения, обеспечивающие реализацию воздействия на зону контакта колеса и рельса на основе существующих способов и систем усиления коэффициента сцепления и принципиальная схема противобуксовочной системы на базе магнитного усилителя коэффициента сцепления использованы при разработке перспективных конструкций отечественного тягового подвижного состава.

Главный конструктор проекта
ОП ООО «ТМХ Инжиниринг»
в г. Брянск «Конструкторское бюро
«Локомотивы»

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'В.С. Титомир', written over a horizontal line.

В.С. Титомир