На правах рукописи

ТРИФОНОВ Алексей Валерьевич

ВЛИЯНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПУТИ

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» на кафедре «Тяговый подвижной состав»

Научный руководитель:	**КОССОВ Валерий Семенович** д.т.н., профессор, генеральный директор АО «ВНИКТИ»
Официальные оппоненты:	**ОРЛОВА Анна Михайловна** д.т.н., ПАО «Научно производственная корпорация «Объединенная Вагонная Компания», заместитель генерального директора по научно-техническому развитию
	АНТИПИН Дмитрий Яковлевич к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», директор учебно-научного института транспорта.
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»

Защита диссертации состоится 25 июня 2019 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д218.005.01 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр. 9 ауд. 2505

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ www.miit.ru.

Автореферат разослан «___» _____2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор _____Воронин Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Актуальность многочисленных исследований по проблеме взаимодействия колес подвижного состава и рельсов, выполненных в России и за рубежом, а также продолжающихся в настоящее время, обусловлена тем, что эта проблема, кроме чисто экономического аспекта (потери энергетических ресурсов на преодоление сопротивления движению, износ колес, рельсов и т. п.), тесно связана с безопасностью движения на железнодорожном транспорте.

Представляемая работа является развитием системного подхода к научным исследованиям по обеспечению устойчивого взаимодействия в системе «колесо-рельс» в рамках реализации основных направлений «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года».

Степень разработанности темы. Развитию науки взаимодействия подвижного состава и пути и исследованиям в области снижения износа колес и рельсов посвящены научные труды и публикации таких российских и зарубежных ученых как С.М. Андриевский, Е.П. Блохин, И.В. Бирюков, М.Ф. Вериго, С.В. Вершинский, Л.О. Грачева, В.Н. Данилов, В.Д. Данович, О.П. Ершков, В.Н. Иванов, И.П. Исаев, А.А. Камаев, А.Я. Коган, М.Л. Коротенко, В.С. Коссов, С.М. Куценко, В.А. Лазарян, Ю.М. Лужнов, Д.П. Марков, В.Б. Медель, Н.А. Панькин, Ю.С. Ромен, А.Н. Савоськин, М.М. Соколов, В.Ф. Ушкалов, В.Н. Филиппов, В.Д. Хусидов, В.В. Шаповалов, В. Гарг, Р. Жоли, И. Калкер, В. Кик, О. Креттек, Ф. Картер, Ф. Фредерих и многих других.

В последние годы проблеме взаимодействия подвижного состава и пути и исследованиям в области снижения износа колес и рельсов уделялось большое внимание. В качестве первоочередной и наиболее быстро реализуемой меры по улучшению взаимодействия колес подвижного состава и рельсов в странах Европы, Америки, а также в России была выбрана лубрикация боковой поверхности головки рельсов.

Существует потребность в определении варианта трибологического состояния контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами в кривых обеспечивающий наиболее эффективное взаимодействие колес подвижного состава и рельсов

по критериям снижения бокового воздействия колес подвижного состава на рельсы, факторов износа и определение диапазона рациональных коэффициентов трения на контактных поверхностях между колесами подвижного состава и рельсами в кривых по условиям реализации тяги и торможения подвижного состава.

Цели и задачи. На основании исследований влияния трибологического состояния контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами на взаимодействие колес подвижного состава и пути разработать рекомендации и технические решения в области контроля трения в зонах контактов колеса и рельса с применением рельсосмазывающего устройства устанавливаемого на различные типы подвижного состава.

Для достижения поставленной цели автор ставит и решает следующие задачи:

– теоретическое и экспериментальное исследования влияния трибологического состояния контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами на взаимодействие колес подвижного состава и пути;

– определение рациональных коэффициентов трения на контактных поверхностях между колесами подвижного состава и рельсами в кривых по условиям реализации тяги, торможения и снижения бокового воздействия на путь подвижного состава;

– разработка и внедрение технических решений в области контроля трения в контакте колеса и рельса с целью управления трением во взаимодействии колес подвижного состава с рельсами.

Научная новизна. 1 С использованием разработанных математических моделей пространственных колебаний секции движения грузового тепловоза и грузового вагона исследовано влияние возможных вариантов трибологического состояния контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами на взаимодействие колес подвижного состава и рельсов. На основании анализа полученных результатов предложен вариант трибологического состояния контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами в кривых обеспечивающий наиболее эффективное взаимодействие колес подвижного состава и рельсов по критериям снижения бокового воздействия колес подвижного состава на рельсы и факторов износа.

2 Предложены рациональные коэффициенты трения на кон-

тактных поверхностях между колесами подвижного состава и рельсами в кривых по условиям реализации тяги и торможения подвижного состава.

3 Обосновано возникновение эффекта снижения момента препятствующего повороту первой колесной пары и тележки в кривой от применения комбинированной лубрикации рельсов.

4 Предложены, на уровне изобретений технические решения всепогодного рельсосмазывающего устройства, в том числе для применения комбинированной лубрикации, для нанесения различных типов смазочных материалов с возможностью установки на различные типы подвижного состава.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость исследования заключается в разработке теоретических положений влияния трибологического состояния контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами на взаимодействие колес подвижного состава и рельсов в результате которых предложены рациональные коэффициенты трения на контактных поверхностях между колесами подвижного состава и рельсами в кривых по условиям реализации тяги и торможения подвижного состава.

Практическая значимость заключается в том, что в результате проведенных исследований разработаны и внедрены технические решения в области контроля трения в контакте колеса и рельса обеспечивающие снижение энергетических затрат на тягу поездов, снижение эксплуатационных расходов на замену рельсов и обточки колесных пар подвижного состава.

Методология и методы исследования. В настоящей диссертации использованы общелогические и эмпирические методы исследования. Общелогические методы представлены компьютерным моделированием процессов взаимодействия колес подвижного состава и рельсов при различных трибологических состояниях контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами, теоретическим анализом, сопоставлением с результатами натурных испытаний и обобщением данных, а эмпирические – сравнительными испытаниями по взаимодействию колес подвижного состава и рельсов при различных трибологических состояниях контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами, регистрацией и анализом физических процессов с помо-

щью специальных измерительно-вычислительных средств.

Положения, выносимые на защиту:

– обоснование выбора наиболее эффективного варианта трибологического состояния на контактных поверхностях между колесами подвижного состава и рельсами по критериям снижения бокового воздействия колес подвижного состава на рельсы и факторов износа;

– обоснование диапазона значений коэффициентов трения на контактных поверхностях между колесами подвижного состава и рельсами в кривых участках пути по условиям реализации тяги и торможения подвижного состава;

– обоснование возникновения эффекта снижения момента препятствующего повороту первой колесной пары и тележки в кривом участке пути от применения комбинированной лубрикации рельсов;

– запатентованные технические решения для использования результатов исследования в области контроля трения в контакте колеса и рельса для управления трением во взаимодействии колес подвижного состава с рельсами.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов диссертации подтверждается корректностью использованного математического аппарата и сравнениями с данными реальных наблюдений, современными методами исследования, которые соответствуют поставленным в работе целям и задачам, а также сходимостью результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными, результатами научных исследований отечественных и зарубежных ученых по сходной тематике, воспроизводимостью результатов, использованию общепризнанного программного комплекса. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, подкреплены фактическими данными, наглядно представленными в приведенных таблицах и рисунках.

Достоверность полученных результатов обусловлена соответствием используемых методов поставленным задачам с учетом особенностей изучаемых объектов, воспроизводимостью результатов и применением методов статистического анализа данных

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на:

– международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития средств управления на железнодорож-

ном транспорте» (ВНИИАС, Звенигород, 2006 г.);

– научно-техническом совете ОАО РЖД» (Москва, 2010 г.);

– международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт-2018») (Ростов-на Дону: РГУПС, 2018 г.);

– V международной научно-практической конференции «Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы» (Коломна: Коломенский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», 30 апр. 2018 г.);

– VI международной научно-практическая конференции «Современные проблемы теории машин» (Новокузнецк: НИЦ «МашиноСтроение», 2018 г.).

Публикации. Основные положения диссертации и научные результаты опубликованы в 19 печатных работах. Три статьи опубликованы в журналах, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованный ВАК России для публикации научных результатов диссертаций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения с изложением результатов и выводов, списка литературы из 204 наименований и приложения. Материалы диссертации содержат 181 страниц основного текста, 34 рисунка, 23 таблицы и одно приложение на 10 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первом разделе** выполнен анализ современного состояния исследований взаимодействия подвижного состава и пути, тенденции развития технических решений в области лубрикации рельсов и контроля трибологического состояния контактных поверхностей головок рельсов.

В разделе выполнен анализ исследований влияния трибологического состояния колес и рельсов на взаимодействие подвижного состава и пути и представлены исследования по методам контроля трибологического состояния рельсов.

Определены основные направления дальнейшего развития научно-исследовательских работ в области взаимодействия подвижного состава и пути, а также проблем, связанных с износом колес и рельсов.

Второй раздел посвящен теоретическим исследованиям взаимодействия колес подвижного состава и пути, в частности разработке математических моделей пространственных колебаний секции грузового тепловоза и грузового вагона позволяющих исследовать ходовую динамику грузового тепловоза и грузового вагона на прямых и кривых участках пути при различных трибологических состояниях колес и рельсов. Расчетные схемы секции грузового тепловоза представлены на рисунке 1.

Компьютерное моделирование проводилось с применением программного комплекса UM. Для исследования влияния трибологического состояния рельсов на взаимодействие подвижного состава и пути, в том числе и на износ гребней колес, были приняты граничные значения коэффициентов трения на контактных поверхностях головок рельсов и рассмотрены пять вариантов трибологического состояния.

Вариант 1 – коэффициент трения скольжения в точках контакта колесной пары с рельсами (рассматривается двухточечный контакт колеса с рельсом) одинаков и равен 0,3.

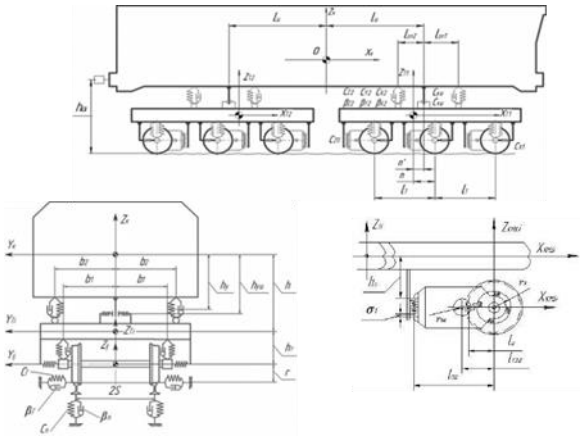

Рисунок 1 – Расчетные схемы секции грузового тепловоза

Вариант 2 – коэффициент трения скольжения в контакте между гребнем набегающего колеса с боковой поверхностью и выкружкой наружного рельса 0,1, в остальных точках контакта – 0,3.

Вариант 3 коэффициент трения скольжения гребня набегающего колеса по боковой поверхности и выкружке наружного рельса 0,1, на поверхности катания сбегающего колеса по внутреннему рельсу 0,1, в остальных точках контакта – 0,3.

Вариант 4 – коэффициент трения поверхности катания наружного

и внутреннего рельсов 0,1, в остальных точках контакта – 0,3.

Вариант 5 – коэффициент трения скольжения гребня набегающего колеса по боковой поверхности и выкружке наружного рельса 0,1, на поверхностях катания наружного и внутреннего рельсов 0,1, в остальных точках контакта – 0,3.

Проведено исследование влияния пяти вариантов трибологического состояния рельсов по боковому воздействию подвижного состава на рельс и факторам износа гребня колеса при двухточечном контакте: мощность (Фс) и удельная работа (ФА). Исследовалось изменение сил крипа в точках контакта колес с рельсами. На рисунке 2 приведены результаты моделирования.

Из анализа результатов компьютерного моделирования секции грузового тепловоза в режиме тяги следует, что наиболее эффективными по боковому воздействию на путь и факторам износа для секции тепловоза в режиме тяги являются варианты 3 и 5.

В результате моделирования получены значения сил продольного и поперечного крипа для вариантов 3 и 5.

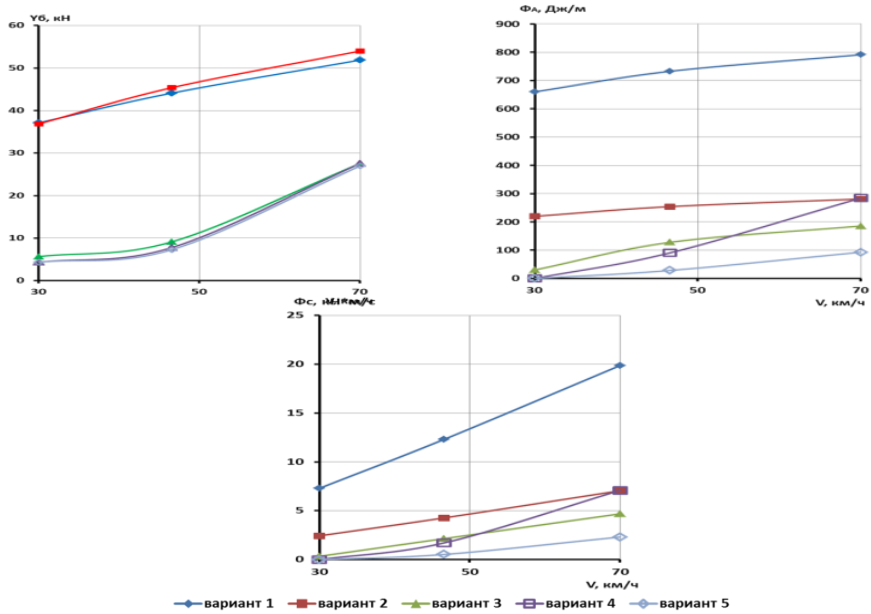

Рисунок 2 – Зависимости боковых сил и факторов износа гребня набегающих колес от трибологического состояния рельсов в режиме тяги

Проведено их сравнение с исходным вариантом 1 и вариантом 2 (рисунок 3).

Проанализировав распределение продольных и поперечных сил крипа под колесами грузового тепловоза при скорости движения 30 км/ч в режиме тяги, можно сделать выводы, что при варианте 2 продольные силы крипа на гребнях набегающих на наружный рельс

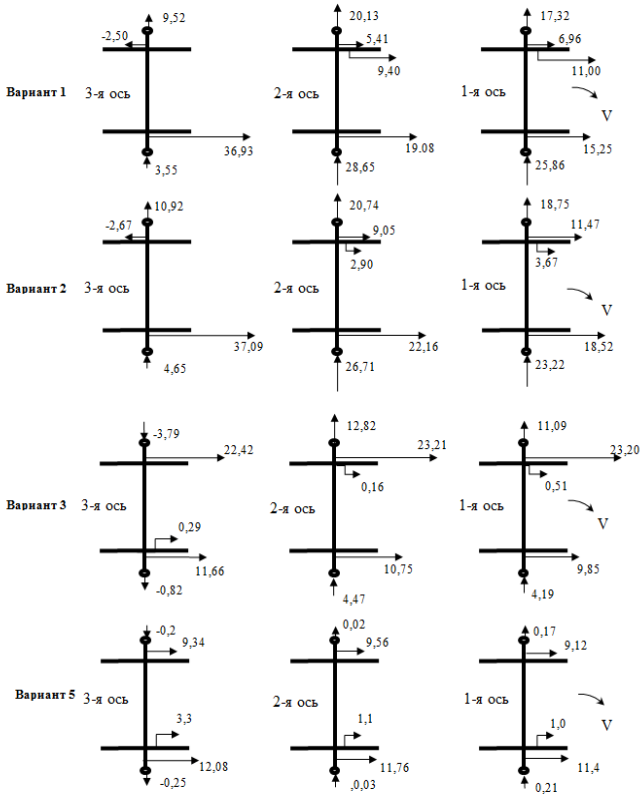

Рисунок 3 – Распределение сил продольного и поперечного крипа в режиме тяги по колесным парам первой тележки грузового тепловоза при V=30 км/ч, кН

колес первой и второй колесных пар уменьшаются до 67 % и 69 %, а продольные силы крипа на поверхностях катания колес возрастают от 16 % до 67 %, так как реализация силы тяги в основном происходит на поверхностях катания колес, поперечные силы крипа изменяются незначительно. На третьей колесной паре значительных

изменений продольных и поперечных сил крипа не происходит.

Из-за такого перераспределения продольных сил крипа на поверхности катания колес происходит увеличение боковых сил, а уменьшение продольных сил крипа на гребнях набегающих на наружный рельс колес приводит к уменьшению факторов износа гребня ФА и Фс.

В варианте 3 по отношению к варианту 1 поперечные силы крипа уменьшаются: на первой колесной паре на 65 %; на второй колесной паре на 64 %; на третьей колесной паре в 1,35 раза. Продольные силы крипа на гребне набегающего колеса первой колесной пары уменьшаются на 95 %, второй – на 98 %. Продольные силы крипа на всех колесах, движущихся по наружному рельсу, увеличиваются таким образом, что сила тяги в большей степени реализуется на наружном рельсе, в результате появляется момент, отворачивающий колесные пары от наружного рельса в кривой. В варианте 5 поперечные силы крипа практически отсутствуют, значения продольных сил крипа на колесах, движущихся по внутреннему рельсу, на 29 % больше чем на колесах, движущихся по наружному рельсу.

На основании распределения сил продольного и поперечного крипа для рассматриваемых вариантов (рисунок 3), произведены расчеты моментов сопротивления повороту передней тележки грузового тепловоза, которые приведены в таблице1.

Таблица 1 – Моменты сопротивления повороту передней тележки грузового тепловоза

№ варианта	**Момент сопротивления повороту тележки, кН м**
1	104,2
2	96,2
3	27,9
5	27,3

В процессе компьютерного моделирования получены данные, позволяющие оценить влияние изменений коэффициентов трения на тяговые качества грузового тепловоза. Сила тяги каждой колесной пары определялась как сумма продольных сил крипа на поверхностях катания обоих колес и гребне набегающего на рельс колеса. Результаты расчетов для скорости 30 км/ч представлены в таблице 2.

Таблица 2– Силы тяги по осям одной секции тепловоза, кН

№ варианта	Колесная пара						Суммарная сила тяги тепловоза
	1	2	3	4	5	6	
1	33,21	33,90	34,47	33,02	33,73	34,50	202,83
2	33,65	34,11	34,46	33,56	34,04	34,49	204,31
3	33,56	34,12	34,37	33,84	34,21	34,38	204,47
5	21,47	22,11	25,73	25,22	24,68	28,57	148,24

Из таблицы 2 следует, что в вариантах 2 и 3 относительно исходного варианта 1 сила тяги практически не изменяется, а в варианте 5 она уменьшается на 27%.

По представленным на рисунке 3 продольным F_{ijn}^{x} и поперечным F_{ijn}^{y} силам крипа рассчитаны их значения по колесам, которые являются векторной суммой двух этих составляющих Для сравнения таблицах 3, 4 представлены значения F_{ijn}^{x}, F_{ijn}^{y}, F_{ijn}, нормальная нагрузка N_{ijn} и силы трения скольжения T_{ijn}.

Из анализа таблиц 3, 4 следует, что в варианте 5 наблюдается следующее: сила тяги реализуется на поверхности катания колес, причем на колесах, движущихся по внутреннему рельсу, она немного больше, при этом поперечные силы крипа практически отсутствуют.

Таблица 3 – Силы в контакте колес с рельсами варианта 3, кН

№ колеса	F_{ijn}^{x}	F_{ijn}^{y}	F_{ijn}	N_{ijn}	k_f	T_{ijn}
11	23,20	11,09	25,71	86,01	0,3	25,80
12	9,85	4,19	10,71	107,67	0,1	10,77
21	23,21	12,82	26,51	88,48	0,3	26,54
22	10,75	4,47	11,64	117,19	0,1	11,72
31	22,42	-3,79	22,73	100,31	0,3	30,09
32	11,66	-0,82	11,63	117,40	0,1	11,74

Таблица 4 – Силы в контакте колес с рельсами варианта 5, кН

№ колеса	F_{ijn}^{x}	F_{ijn}^{y}	F_{ijn}	N_{ijn}	k_f	T_{ijn}
11	9,12	0,17	9,12	90,65	0,1	9,07
12	11,42	0,21	11,41	113,40	0,1	11,34
21	9,56	0,02	9,56	94,95	0,1	9,49
22	11,76	0,03	11,76	116,82	0,1	11,68
31	9,34	-0,20	9,34	92,84	0,1	9,28
32	12,08	-0,26	12,08	120,01	0,1	12,00

Из сопоставления суммарных сил крипа с силами трения скольжения соответствующих колес следует, что в варианте 3 значения сил трения скольжения по всем колесам больше соответствующих им суммарных сил крипа, т.е. существует запас по сцеплению. Из этого следует, что колеса грузового тепловоза в режиме тяги при трибологическом состоянии рельсов по варианту 3 будут катиться по рельсам без проскальзывания.

В варианте 5 запаса по сцеплению нет, на всех колесах значения сил трения меньше векторной суммы продольных F_{ijn}^{x} и поперечных F_{ijn}^{y} сил крипа соответствующих колес. Это свидетельствует о том, что колеса будут двигаться по рельсам с проскальзыванием.

Из анализа результатов компьютерного моделирования следует, что наиболее эффективным вариантом трибологического состояния контактных поверхностей рельсов для грузового тепловоза в режиме тяги является вариант 3 (комбинированная лубрикация), который, в отличии от других вариантов обеспечивает наилучшее сочетание снижения боковых сил и фактор износа: удельной работы (ФА) сил трения в контакте гребней с рельсами и мощности сил трения в зависимости по скорости скольжения (Фс) при движении грузового тепловоза в режиме тяги без проскальзывания колес и снижения силы тяги.

Аналогичные исследования проведены и с использованием модели грузового вагона с двухосными тележками модели 18-100 для груженого и порожнего его состояния.

Основываясь на требованиях руководящих документов по проведению тяговых и тормозных расчетов, отечественном и мировом опыте эксплуатации железных дорог и результатах компьютерного моделирования определены рациональные коэффициенты трения на контактных поверхностях головок рельсов по условиям тяги и торможения: на боковой грани головки наружного рельса после нанесения смазочного материала в диапазоне 0,1–0,25; на поверхности катания головки внутреннего рельса после нанесения смазочного материала в диапазоне 0,18–0,25.

На рисунке 4 представлены результаты сканирования динамики секции грузового тепловоза в режиме тяги.

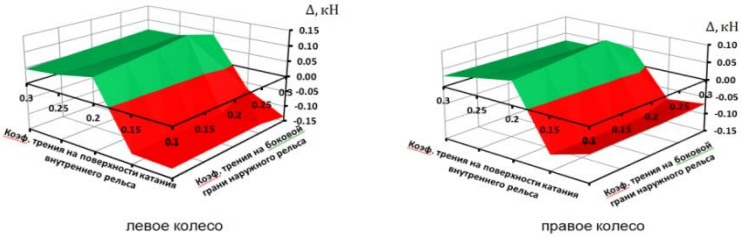

Рисунок 4 –Сопоставления суммарных сил крипа с силами трения скольжения Δ (Δ= $T_{ijn} - F_{ijn}$) для первой колесной пары грузового тепловоза при движении по кривой радиусом 300 м со скоростью 1 км/ч в режиме тяги

Исследовалось влияние различных соотношений коэффициентов трения в точках контакта колес подвижного состава с рельсами на силы крипа и трения скольжения соответствующих колес в данных точках контакта. Из графиков следует, что проскальзывание возникает на колесах грузового тепловоза в режиме тяги при значениях коэффициента трения на поверхности катания внутреннего рельса менее 0,18. Это согласуется с результатами аналитических расчетов. Что касается грузового вагона в груженом и порожнем состояниях, то проскальзывание будет возникать при значениях коэффициента трения на поверхности катания внутреннего рельса менее 0,15. Из этого следует, что при реализации предлагаемых рациональных коэффициентов трения на поверхности катания наружного рельса после нанесения смазочного материала в диапазоне 0,18 – 0,25 будет обеспечено движение грузового вагона в груженом и порожнем состояниях без проскальзывания колес по рельсам и торможение без юза.

В третьем разделе представлены результаты экспериментальных исследований влияния изменения трибологического состояния в точках контакта колес подвижного состава с рельсами на взаимодействие колес подвижного состава и пути.

Опытные поездки осуществлялись в кривой радиусом 300 м.

Оценка воздействия подвижного состава на путь производилась по напряжениям в кромках подошвы рельсов и боковым силам по методу Шлюмпфа.

Смазочный материал наносился по всей длине тензометрического участка. Производился сравнительный анализ результатов испытаний полученных при трибологических состояниях рельсов по ва-

рианту 1 – оба рельса не смазаны и варианту 3 – смазаны боковая поверхность головки наружного рельса и поверхность катания внутреннего рельса (комбинированная лубрикация). Коэффициенты трения на контактных поверхностях рельсов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Коэффициенты трения на контактных поверхностях рельсов

Место измерения коэффициента трения	**Вариант 1**	**Вариант 3**
Боковая поверхность головки наружного рельса	0,33	0,07
Поверхность катания внутреннего рельса	0,3	0,18
Поверхность катания наружного рельса	0,29	0,29

Установлено, что в кривой радиусом 300 м при скоростях движения от 30 до 70 км/ч для набегающего колеса первой колесной пары секции грузового тепловоза в режиме тяги при комбинированной лубрикации рельсов по сравнению с несмазанными рельсами значения полуразности кромочных напряжений снижаются от 23 до 61 %, боковые силы измеренные методом Шлюмпфа –от 28 до 53 %. Для груженого полувагона на тележках модели 18-100 при применении комбинированной лубрикации рельсов по сравнению с несмазанными рельсами значения полуразности кромочных напряжений снижаются от 20 до 73 %.

Четвертый раздел посвящен техническим решениям по управлению трибологическим состоянием между колесами подвижного состава и рельсами.

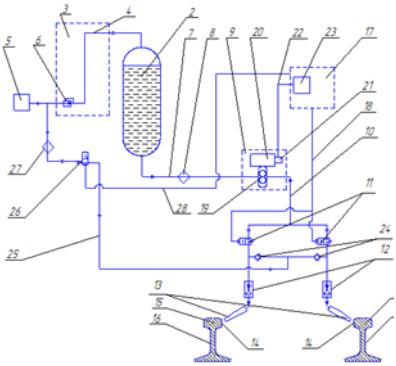

Рисунок 5– Схема рельсосмазывателя одномодульного

Предложены запатентованные технические решения всепогодного рельсосмазывающего устройства модульного типа с системой управления на основе спутниковой навигации, в том числе для применения комбинированной лубрикации, для нанесения различных типов смазочных материалов для установки на различные типы подвижного состава.

На рисунке 5 схематично изображен рельсосмазыватель (один модуль) применительно к традиционной лубрикации рельсов. При применении комбинированной лубрикации рельсов форсунка второго модуля рельсосмазывателя будет направлена на поверхность катания внутреннего рельсов в кривой.

Рельсосмазыватель, содержит смонтированный на рельсовом транспортном средстве не менее одного бака 2 под смазку с системой 3 принудительной подачи смазки которая, снабжена пневмомагистралью 4 от источника 5 сжатого воздуха, введенной в полость бака 2 через регулятор давления 6 сжатого воздуха, при этом полость бака 2 соединена трубопроводом 7 через фильтр 8 с устройством 9 подачи смазки, соединенным трубопроводом 10 через клапаны 11 и клапаны запорные 12 с форсунками 13 для нанесения смазки на боковую внутреннюю грань 14 головки 15 наружного в соответствующей кривой пути рельса 16. Устройство управления 17 подачей смазки соединено связью 18 с клапанами 11.

Устройство 9 подачи смазки включает в себя шестеренный насос 19 с электрическим двигателем 20 и блоком управления 21 этим электрическим двигателем, который в свою очередь соединен связью 22 с блоком определения скорости движения 23 рельсового транспортного средства, входящего в состав устройства управления 17 подачей смазки. Форсунки 13 через клапаны запорные 12, обратные клапаны 24, пневмомагистраль 25, электропневмовентиль 26, фильтр воздушный 27 соединены с источником 5 сжатого воздуха для их продувки, при этом электропневмовентиль 26 соединен связью 28 с устройством управления 17 подачей смазки.

При движении рельсового транспортного средства на котором установлен рельсосмазыватель по участкам пути, где необходимо нанести смазку на боковую внутреннюю грань 14 головки 15 наружного в кривой рельса 16 по сигналу от устройства управления подачей смазки 17 открывается соответствующий клапан электромагнитный 11. Смазка из бака 2 за счет создания в нем необходимого избыточного давления воздуха от источника 5 сжатого воздуха подается по трубопроводу 7 через фильтр 8 в дополнительное устройство подачи 9 смазки. Устройство 9 подачи смазки в зависимости от сигнала с блока определения скорости движения 23 рельсового транспортного средства, входящего в состав устройства управления подачей смазки 17, управляет работой – изменяет число оборотов

электродвигателя 20 шестеренного насоса 19 за единицу времени в соответствии с изменением скорости движения рельсового транспортного средства. Трубопроводы рельсосмазывателя оборудованы нагревательными электрическими элементами.

Система управления рельсосмазывателя реализована на основе спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS).

Предложена технология комбинированной лубрикации рельсов локомотивом ведущим состав, отличающаяся от существующих тем, что лубрикация внутреннего рельса в кривой производится тяговым локомотивом в составе поезда, но на участках пути, где осуществлена лубрикация боковой грани головки наружного рельса вагонами-рельсосмазывателями.

В пятой главе приведен расчет экономической эффективности предлагаемых технических решений выполненный применительно к вагону-рельсосмазывателю по результатам внедрения технологии лубрикации рельсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации выполнен анализ отечественных и зарубежных работ по теории взаимодействия подвижного состава и пути.

В соответствии с задачами диссертационного исследования получены следующие выводы и результаты.

1 На основании разработанных математических моделей нелинейных пространственных колебаний взаимодействия подвижного состава и пути, позволяющих учитывать различные трибологические состояния контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами, получены зависимости влияния трибологического состояния контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами на взаимодействие колес подвижного состава и рельсов.

2 По результатам компьютерного моделирования:

Определены варианты трибологического состояния контактных поверхностей между колесами подвижного состава и рельсами в кривых, обеспечивающий наиболее эффективное взаимодействие колес подвижного состава и рельсов по критериям снижения бокового воздействия колес подвижного состава на рельсы и факторов износа:

– для грузового тепловоза – вариант с одновременным понижением коэффициента трения скольжения гребня набегающего колеса

по боковой поверхности и выкружке наружного рельса и на поверхности катания сбегающего колеса по внутреннему рельсу (комбинированная лубрикация), обеспечивающий в зависимости от скорости движения в режиме тяги в диапазоне от 30 км/ч до 70 км/ч, без проскальзывания колес снижение: боковых сил на 89 %; удельной работы сил трения в контакте гребней с рельсами на 95 %; мощности сил трения в зависимости по скорости скольжения на 95 %;

– для грузового вагона на тележках модели 18-100 – вариант с одновременным понижением коэффициента трения скольжения гребня набегающего колеса по боковой поверхности и выкружке наружного рельса и на поверхности катания сбегающего колеса по внутреннему рельсу (комбинированная лубрикация), обеспечивающий в зависимости от скорости движения в груженом состоянии в диапазоне от 30 км/ч до 70 км/ч, без проскальзывания колес снижение: боковых сил на 62 %; удельной работы сил трения в контакте гребней с рельсами на 70 %; мощности сил трения в зависимости по скорости скольжения на 68 %.

Для грузового вагона также применим вариант с одновременным понижением коэффициента трения скольжения гребня набегающего колеса по боковой поверхности и выкружке наружного рельса и коэффициента трения на поверхностях катания наружного и внутреннего рельсов, обеспечивающий в зависимости от скорости движения в груженом состоянии в диапазоне от 30 км/ч до 70 км/ч, снижение: боковых сил на 65 %; удельной работы сил трения в контакте гребней с рельсами на 86 %; мощности сил трения в зависимости по скорости скольжения на 85 %.

Обосновано возникновение эффекта снижения момента сопротивления повороту тележки грузового локомотива в режиме тяги в кривой от применения комбинированной лубрикации за счет перераспределения продольных и поперечных сил крипа в точках контакта колес с рельсами таким образом, что сила тяги в большей степени будет реализовываться на наружном рельсе. Для грузового вагона снижения момента сопротивления повороту тележки при комбинированной лубрикации рельсов в кривой реализуется за счет перераспределения продольных и поперечных сил крипа в точках контакта колеса с рельсом таким образом, что уменьшение продольных сил крипа на гребне набегающего на наружный рельс колеса ведет к увеличению поперечных сила крипа на набегающем

колесе. При этом в точке контакта сбегающего колеса и внутреннего рельса поперечные силы крипа уменьшаются.

3 В результате аналитических расчетов подтвержденных компьютерным моделированием определены рациональные значения коэффициентов трения на контактных поверхностях между колесами подвижного состава и рельсами в кривых по условиям реализации тяги и торможения подвижного состава: на боковой грани головки наружного рельса после нанесения смазочного материала в диапазоне 0,1 – 0,25; на поверхности катания головки внутреннего рельса после нанесения смазочного материала в диапазоне 0,18 – 0,25.

4 Экспериментально получено подтверждение результатов компьютерного моделирования эффективности трибологического состояния рельсов по варианту комбинированной лубрикацией.

5 По результатам теоретических и экспериментальных исследований предложены:

Запатентованные технические решения всепогодного рельсосмазывающего устройства для установки на различные типы подвижного состава, с возможностью применения комбинированной лубрикации и нанесения различных типов смазочных материалов.

Технология комбинированной лубрикации рельсов локомотивом, ведущим состав, отличающаяся от существующих технологий тем, что лубрикация внутреннего рельса в кривой производится тяговым локомотивом в составе поезда, но на участках пути, где осуществлена лубрикация боковой грани головки наружного рельса вагонами-рельсосмазывателями.

6 По разработанной конструкторской документации для ОАО «РЖД» оборудованы и эксплуатируются на сети железных дорог России семь вагонов-рельсосмазывателей и один локомотивный рельсосмазыватель на базе тепловоза ЧМЭ3. Применение одного вагона-рельсосмазывателя, позволяет снизить эксплуатационные расходы на электроэнергию на тягу поездов, замену рельсов, обточки колесных пар на 25058,2 тыс.руб. в год и обеспечит интегральный эффект (чистый дисконтированный доход) в размере 129683,6 тыс.руб.

7 Рекомендуется оснащение грузовых локомотивов рельсосмазывающими устройствами для нанесения смазочного материала на поверхность катания внутреннего рельса в кривых.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в печатных изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1 Воздействие длинносоставных поездов на путь [Текст] / В.С. Коссов, А.А. Лунин, Ю.А. Панин, **А.В. Трифонов**, И.Е. Ильин // Вестн. Науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп.. – 2016. – Т. 75. – № 4. – С. 224–232.

2 Лубрикация рельсов тяговым локомотивом в составе поезда [Текст] / В.С. Коссов, А.А. Лунин, Ю.А. Панин, **А.В. Трифонов**, И.Е. Ильин // Вестн. Науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. – 2017. – Т. 76. – № 1. – С. 57–60.

3 Результаты динамических и по воздействию на путь испытаний поездов повышенной массы и длины [Текст] / В.С. Коссов, В.А. Гапанович, А.А. Лунин, А.В. Спиров, **А.В. Трифонов** // Вестн. Ин-та проблем естеств. монополий: Техника ж. д. – 2018. – № 2. – С. 82–87.

Публикации в прочих изданиях

4 Панин Ю.А. Снижение бокового воздействия на путь как результат применения комбинированной лубрикации рельсов [Текст] / Ю.А. Панин, В.С. Коссов, **А.В. Трифонов** // Тр. Всерос. науч.-исслед. и конструкт.-технол. ин-та подвиж. состава. – 2005. – Вып. 85. – С. 159–166.

5 **Трифонов А.В.** Исследования по применению комбинированной лубрикации рельсов [Текст] / Трифонов А.В., Лунин А.А. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2005. – № 8. – С. 118–121.

6 Технические решения по снижению бокового воздействия подвижного состава на путь и стрелочные переводы [Текст] / Ю.А. Панин, В.С. Коссов, **А.В. Трифонов**, В.И. Кошелев // Тр. Всерос. науч.-исслед. и конструкт.-технол. ин-та подвиж. состава. – 2007. – Вып. 88. – С. 35–49.

7 Коссов В.С. Снижение бокового воздействия на путь как результат применения комбинированной лубрикации рельсов [Текст] / В.С. Коссов, Ю.А. Панин, **А.В. Трифонов** // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тез. докл. LXVI Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 2006). – С. 64–65.

8 Опыт разработки и перспективы внедрения навигационного

устройства управления рельсосмазывателем [Текст] / **А.В. Трифонов**, В.С. Коссов [и др.] // Современные тенденции развития средств управления на железнодорожном транспорте: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. (Звенигород: ВНИИАС, 2006 г.). – С. 118–122.

9 Коссов В.С. В перспективе – комбинированная лубрикация [Текст] / В.С. Коссов, Ю.А. Панин, **А.В. Трифонов** // Локомотив. – 2006. – № 12. – С 32–33.

10 Влияние ширины колеи на показатели динамики, воздействия на путь, сопротивления движению и критерии износа рельсов [Текст] / В.С. Коссов, А.Л. Бидуля, В.В. Березин, В.А. Быков, А.А. Лунин, В.П. А.В. Спиров, **А.В. Трифонов //** Вестн. Науч.-исслед. и конструкт.-технол. ин-та подвижн. состава. – 2010. – Вып. 92. – С. 3–21.

11 Оценка износостойкости смазочных покрытий для лубрикации рельсов [Текст] / В.С. Коссов, В.А. Чаркин, В.В. Березин, Ю.А. Панин, **А.В. Трифонов** // Вестн. Науч.-исслед. и конструкт.-технол. ин-та подвижн. состава. – 2012. – Вып. 94. – С. 3–17.

12 Новая смазка для перспективных рельсосмазывателей [Текст] / В.С. Коссов, В.А. Чаркин, Ю.А. Панин, **А.В. Трифонов**, Ю.И. Беляев // Вестн. Науч.-исслед. и конструкт.-технол. ин-та подвижн. состава. – 2012. – Вып. 94. – С. 37–42.

13 Перспективный локомотивный рельсосмазыватель [Текст] / В.С. Коссов, В.А. Чаркин, Ю.А. Панин, **А.В. Трифонов** // Локомотив. – 2012. – № 4. – С. 22–23.

14 Математическая модель пространственных колебаний шестиосного локомотива [Текст] / **А.В. Трифонов**, В.С. Коссов [и др.] // Вестн. Науч.-исслед. и конструкт.-технол. ин-та подвижн. состава. – 2013. – Вып. 95. – С. 21–42.

15 Влияние управляемого изменения коэффициента трения головок рельсов на снижение бокового воздействия на путь и повышение весовых норм грузовых вагонов [Текст] / В.С. Коссов, Ю.А. Панин, В.П. Гриневич, **А.В. Трифонов** // Вестн. Науч.-исслед. и конструкт.-технол. ин-та подвижн. состава. – 2014. – Вып. 96. – С. 4–10.

16 Исследования влияния трибологического состояния рельсов на взаимодействие подвижного состава и пути методом математического моделирования [Текст] / **А.В. Трифонов**, В.С. Коссов [и др.] // Вестн. Науч.-исслед. и конструкт.-технол. ин-та подвижн. со-

става. – 2015. – Вып. 97. – С. 5–15.

17 **Трифонов А.В.** Способы и средства оценки износостойкости смазочных покрытий для лубрикации рельсов [Текст] / А.В. Трифонов, В.С. Коссов, Ю.А. Панин // Вестн. Науч.-исслед. и конструкт.-технол. ин-та подвижн. состава. – 2016. – Вып. 98. – С. 14–18.

18 Технические решения по управлению трением во взаимодействии колес подвижного состава с рельсами [Текст] / **А.В. Трифонов**, В.С. Коссов [и др.] // Современные проблемы теории машин: материалы VI междунар. науч.-практ. конф. (Новокузнецк: НИЦ «МашиноСтроение», 2018). – № 6. – С. 67–74.

19 Панин Ю.А. Влияние коэффициента трения на контактных поверхностях головок рельсов на эффективность эксплуатации локомотивов [Текст] / Ю.А. Панин, **А.В. Трифонов** // Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы: материалы V междунар. науч.-практ. конф. (Коломна: КИ (филиал) ФГБОУ ВО «Моск. политех. ун-т», 30 апр. 2018 г.). – С. 89–95.

Патенты на изобретения и полезные модели

20 Вагон-рельсосмазыватель [Текст] : пат. 104525 Рос. Федерация: МПК B61K 3/00 / Коссов В.С., Панин Ю.А., Чаркин В.А., Сазонов И.В., Дисветов М.Л., **Трифонов А.В.**; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД». – № 2010150267/11; заявл. 08.12.2010; опубл. 20.05.2011, Бюл. № 14.

21 Рельсосмазывающее оборудование для вагона-рельсосмазывателя [Текст]: пат. 94935 Рос. Федерация: МПК B61K 3/02 / Коссов В.С., Чаркин В.А., Березин В.В., Панин Ю.А., Халявин В.С., **Трифонов А.В.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД». – № 2010103727/22; заявл. 04.02.2010; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 16.

22 Рельсосмазывающее оборудование для вагона-рельсосмазывателя [Текст]: пат.103342 Рос. Федерация: МПК B61K 3/02 / Коссов В.С., Чаркин В.А., Березин В.В., Панин Ю.А., Халявин В.С., **Трифонов А.В.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД». – № 2010144831/11; заявл. 02.11.2010; опубл. 10.04.2011, Бюл. № 10.

23 Рельсосмазыватель [Текст]: пат. 109076 Рос. Федерация: МПК B61K 3/02 / Коссов В.С., Чаркин В.А., Березин В.В., Панин Ю.А., **Трифонов А.В.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «ВНИКТИ». – № 20111119941/11; заявл. 19.05.2011, опубл. 10.10.2011,

Бюл. № 28.

24 Рельсосмазыватель локомотивный [Текст]: пат. 109446 Рос. Федерация: МПК B61K 3/02 / Коссов В.С., Чаркин В.А., Березин В.В., Панин Ю.А., **Трифонов А.В.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «ВНИКТИ». – № 201111110793/11; заявл. 23.03.2011, опубл. 20.10.2011, Бюл. № 29.

25 Рельсосмазывающее оборудование [Текст]: пат. 114926 Рос. Федерация: МПК B61K 3/02 / Коссов В.С., Чаркин В.А., Панин Ю.А., **Трифонов А.В.**; заявитель и патентообладатель ОАО «ВНИКТИ». – № 20111145879/11; заявл. 14.11.2011, опубл. 20.04.2012, Бюл. № 11.

26 Способ и система управления устройством для нанесения смазки [Текст]: пат. 2309075 Рос. Федерация: МПК B61K 3/02 / Коссов В.С., Панин Ю.А., **Трифонов А.В.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГУП ВНИКТИ МПС России. – № 2006114038/11; заявл. 26.04.2006; опубл. 27.10.2007, Бюл. № 30.

27 Устройство для нанесения смазки и модификатора трения на рельсы [Текст]: пат. 2348557 Рос. Федерация: МПК B61K 3/02 / Коссов В.С., Чаркин В.А., Панин Ю.А., Халявин В.С., Чижиков А.Н., **Трифонов А.В.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД». – № 2007141824/11; заявл. 14.11.2007; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7.

28 Устройство для нанесения смазки и модификатора трения на рельсы [Текст]: пат. 2288125 Рос. Федерация: МПК B61K 3/02 / Коссов В.С., Панин Ю.А., Халявин В.С., Чижиков А.Н., **Трифонов А.В.**, Егоров А.Ю.; заявитель и патентообладатель ФГУП «ВНИКТИ» МПС России. – № 2005117455/11; заявл. 07.06.2005; опубл. 27.11.2006, Бюл. № 33.

29 Устройство для нанесения смазки на рельсы [Текст]: пат. 83987 Рос. Федерация: МПК B61K 3/02 / Коссов В.С., Панин Ю.А., Халявин В.С., Чижиков А.Н., **Трифонов А.В.**, Егоров А.Ю.; заявитель и патентообладатель ОАО «ВНИКТИ». – № 2009102920/22; заявл. 29.01.2009; опубл. 27.06.2009, Бюл. № 18.

ТРИФОНОВ Алексей Валерьевич

ВЛИЯНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПУТИ

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Подписано в печать Формат бумаги 60×84/16
Усл. печ. л. 1,4. Тираж 80 экз. Заказ

140402, г. Коломна, Московская область, ул. Октябрьской
революции, д. 410, Типография АО «ВНИКТИ»