

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный университет путей сообщения»
МГУПС (МИИТ)

На правах рукописи

Гусева Алла Ивановна

**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕМ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Специальность 08.00.05 – «Экономика и управление народным хозяйством
(экономика, организация и управление предприятиями, отраслями
и комплексами – транспорт)»

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель
доктор экономических наук, профессор
Романова Алина Терентьевна

Москва – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ЗАВИСИМОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ОТ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС».....	11
1.1. Влияние триботехнических характеристик системы «колесо-рельс» на экономические показатели работы отрасли.....	11
1.2. Зависимость экономических показателей работы железнодорожного транспорта от характеристик системы «колесо-рельс».....	15
1.3. Анализ эффективности мероприятий по снижению экономических потерь в системе «колесо-рельс».....	25
1.4. Анализ зарубежного и отечественного опыта по применению триботехнических мероприятий.....	38
Выводы по главе 1.....	53
2. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУБРИКАЦИИ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС».....	55
2.1. Анализ факторов, влияющих на экономическую эффективность мероприятий по снижению ресурсных потерь в системе «колесо- рельс».....	55
2.2. Построение моделей оценки влияния расхода смазочных материалов на удельное энергопотребление на тягу поездов и интенсивность износа гребней бандажей колесных пар локомотивов....	69
2.3. Ранжирование эксплуатационных показателей по степени их влияния на удельное энергопотребление на тягу поездов и интенсивность износа гребней бандажей колесных пар локомотивов и количество обточек	94
2.4 Формирование интегральной оценки ресурсозатратности участков	

железных дорог	101
2.5. Формирование интегрального показателя эффективности системы лубликации	107
Выводы по главе 2.....	118
3. РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМА ВЫБОРА ВАРИАНТА СИСТЕМЫ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ.....	120
3.1. Формирование согласованной системы моделей энергопотребления на тягу поездов, интенсивности изнашивания элементов трибосистемы и удельного расхода смазочного материала ...	120
3.2. Выявление факторов, определяющих параметры жизненного цикла системы лубликации	133
3.3. Алгоритм выбора эффективного варианта систем лубликации при конкретных условиях эксплуатации участков железных дорог	143
3.4. Оценка экономического эффекта от применения системы лубликации на конкретных железнодорожных участках	153
Выводы по главе 3	164
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	166
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	168
Приложение 1.....	185
Приложение 2.....	193
Приложение 3.....	194
Приложение 4.....	198

ВВЕДЕНИЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Увеличение за последние годы осевых нагрузок и скорости движения поездов привело к тому, что существенно изменились потери в системе «колесо-рельс» и ее износ.

Начиная с 1985 г., изменения условий эксплуатации на железных дорогах России привели к значительному росту интенсивности износа и повреждаемости колес и рельсов. Это усилило внимание к фрикционному взаимодействию колес и рельсов и способам управления этим процессом, привело к поиску новых путей улучшения взаимодействия колес транспортных средств и пути. В работах отечественных и зарубежных авторов показано в качественной и количественной оценке влияние процессов в трибосистемах на эффективность использования ресурсов железнодорожного транспорта и его финансово-экономические показатели, на надежность и безопасность движения, конкурентоспособность железнодорожных перевозок на рынке транспортных услуг [12, 53, 58, 62, 65, 92, 97, 102, 103, 106, 108, 131, 133, 142, 144, 160, 161].

К системам управления фрикционным взаимодействием относятся системы пескоподачи, смазки и ряд других. Анализ статистических данных по использованию смазки в ОАО «РЖД» показывает неоднозначные результаты от их применения [37- 40, 44, 103]. На ряде железных дорог имело место снижение удельного расхода электроэнергии кВт.ч/10 тыс. ткм брутто, износа колес и рельсов и объемов затрат на их ремонт, на других – отмечен рост перечисленных показателей. Не одинаковым было влияние удельного расхода смазочных материалов даже в пределах одного климатического участка. Это определило актуальность оценки условий экономически эффективного использования существующих систем управления сцеплением. В частности - условий рационального использования смазки, применение которой продолжает тиражироваться на любых участках сети железных дорог.

Степень разработанности темы исследования. Проблемам организации эффективного управления взаимодействием колеса и рельса посвящены фундаментальные труды ведущих российских и зарубежных ученых – специалистов в области трибологии и триботехники. Это труды И.В. Крагельского – создателя молекулярно-механической теории трения и теории усталостного изнашивания, Ю.М. Лужнова, который впервые рассмотрел влияние климатических условий эксплуатации и загрязнения поверхностей пар трения на величину коэффициента сцепления, ввел понятие третьего тела, А.В. Чичинадзе – создателя признанной в мире «Теории тепловой динамики и моделирования трения и износа», А.Л. Голубенко, сопоставившего результаты расчета сил крипа по методикам Ф. Картера и Дж. Калкера, которые проведены для случая движения одной и той же колесной пары. В области теории электрической тяги важны труды А.В. Вульфа, В.Е. Розенфельда, И.П. Исаева, Н.Н. Сидоровой, Б.Г. Постола, развивших методы тяговых расчетов; В.С. Молярчука, В.П. Феоктистова, Д.П. Маркова, Ю.К. Сосенко, Э.Н. Шенкмана, работавших в области определения энергозатрат на выполнение заданных объемов поездной работы и нормирования энергозатрат для тяги поездов. В области тяжеловесного движения – В.М. Богданова, Л.А. Мугинштейна и др. В области экономики трибосистем железнодорожного транспорта – А.Н. Ефанова, А.С. Квицинского., Ю.Ф. Кулаева, А.Т. Романовой, В.В. Ракова, Ж.В. Малиновской.

Целью диссертационного исследования является разработка методических подходов к экономической оценке условий эффективного использования смазки на железнодорожном транспорте.

В соответствии с целью диссертационного исследования были поставлены **задачи**, определившие логику и структуру исследования. Это:

- проведение анализа факторов, определяющих потери в системе «колесо-рельс» с целью ранжирования их влияния на энергопотребление и износ;
- проведение факторного анализа эффективности смазки как ресурсосберегающего мероприятия на основе статистических данных о работе

ряда депо и выявление критических значений расхода смазочных материалов, ограничивающих продолжительность жизненного цикла систем смазки;

- построение моделей для экономической оценки условий рационального использования смазки;

- разработка алгоритма выбора эффективного варианта смазки трибосистемы в конкретных условиях эксплуатации участков железных дорог и предельных условий и сроков применения конкретных технологий ее реализации.

Объектом исследования является система ресурсосбережения на железнодорожном транспорте Российской Федерации.

Предметом исследования являются методы оценки экономической эффективности систем по снижению расхода производственных ресурсов на железнодорожном транспорте.

Соответствие темы диссертации требованиям Паспорта специальностей ВАК. Диссертационная работа выполнена в рамках п. 1.4.84 «Оценка экономической эффективности нового транспортного строительства, технического перевооружения и модернизации путей сообщения и 1.4.86 «Исследование экономической эффективности новых форм и способов организации перевозок, транспортного строительства, технического обслуживания и ремонта подвижного состава», паспорта научной специальности 08.00.05 – «Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями и комплексами – транспорт)»

Теоретическую и методологическую основы исследования составляют категории, экономические закономерности эксплуатации железных дорог, законы трибологии, системный подход при изучении процессов и явлений в технических системах, влияющих на организационно-экономические и технические показатели работы транспорта, эконометрические зависимости.

Методологический инструментарий исследования включает в себя совокупность эконометрических, экономико-математических, экспертно-эвристических, графоаналитических, логических и других методов научного

анализа. Исследование проводилось с использованием системного подхода, методов математической статистики и экономико-математического моделирования, что позволило обеспечить репрезентативность, доказательность и обоснованность положений и результатов диссертационной работы.

Информационно-эмпирической базой исследования, обеспечившей репрезентативность исходных данных, достоверность, надежность и точность выводов, рекомендаций и предложений, послужили нормативно-правовые документы, статистические материалы холдинга «РЖД», материалы монографических исследований отечественных и зарубежных ученых, представленные в статьях периодической научной печати, изданиях научно-практических конференций и семинаров, в сети Интернет.

Рабочая гипотеза диссертационного исследования заключается в:

- предположении существования связи между эксплуатационными показателями работы локомотивов и оптимальными размерами удельного расхода смазочного материала, определяющими продолжительность жизненного цикла ресурсосберегающих мероприятий и эффективность использования систем лубрикации;

- зависимости условий эффективного использования лубрикации в системе «колесо-рельс» и продолжительности жизненного цикла конкретной системы лубрикации от конкретных эксплуатационных показателей и ресурсозатратности железнодорожных участков, обслуживаемых локомотивными депо, а также от заданной программы ресурсосбережения.

Научная новизна исследования состоит в разработке методического инструментария по определению условий эффективного использования мероприятий, направленных на снижение потерь в системе «колесо-рельс» за счет лубрикации. В диссертации получены и выносятся на защиту следующие основные результаты, содержащие элементы научной новизны.

1. Выявлен характер зависимости удельного энергопотребления и интенсивности изнашивания бандажей колесных пар локомотивов от удельного

расхода смазочных материалов, которая имеет минимум удельного энергопотребления и износа.

2. Установлено несовпадение условий получения потенциально-возможных минимумов удельного энергопотребления и износа бандажей колесных пар локомотивов.

На основе разработанных моделей установлена количественная связь расхода смазочных материалов с удельным расходом электроэнергии на тягу поездов и износом бандажей колесных пар.

3. Доказано, что оптимальный расход смазочного материала минимизирует энергопотребление на тягу поездов, и соответственно, повышает коэффициенты использования энергоресурсов и конкурентоспособность транспортной продукции железных дорог при заданных потребительских требованиях к перевозочному процессу.

4. Разработан подход к определению предельных условий эффективного использования лубрикации, включая эксплуатационные показатели, которые обеспечивают при существующей ресурсозатратности участка железной дороги эффективное применение системы лубрикации.

5. Разработан алгоритм оценки продолжительности жизненного цикла системы лубрикации, который зависит от условий эксплуатации и графика ресурсосбережения, предложен индикатор эффективности лубрикации, а также выявлена его связь с коэффициентом ресурсозатратности пути.

6. Разработан алгоритм принятия решений о целесообразности использования лубрикации на железнодорожных участках как одного из мероприятий, направленного на снижение потерь в системе «колесо-рельс» и на экономию затрат на железнодорожном транспорте.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что в отличие от существующих научно-практических подходов по выбору и внедрению в эксплуатацию мероприятий по снижению потерь в системе «колесо-рельс» в диссертации разработаны теоретические положения и методические рекомендации по оценке рациональных условий использования системы

лубликации, а также дана методика оценки предельных сроков эффективного использования системы при заданных условиях эксплуатации и временном графике выполнения программы ресурсосбережения. Разработанные подходы могут быть применены для оценки эффективности других видов технологий управления взаимодействием в триботехнических системах.

Практическая значимость полученных соискателем результатов состоит в том, что основные выводы и методические подходы доведены до уровня конкретных рекомендаций, которые предоставляют менеджменту транспортных компаний возможность:

- оценить общую величину экономии, предельные сроки и условия эффективного использования бизнес-процесса лубликации, направленного на ресурсосбережение, снижение финансовых, материальных и трудовых затрат;
- определить затраты на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава, а также численность персонала сервисных служб транспортных компаний.

Наиболее существенные результаты исследования, содержащие элементы научной новизны, заключаются в следующем:

1. Разработаны методические рекомендации по оценке условий эффективного использования систем лубликации направленных на снижение затрат на железнодорожном транспорте в условиях реформирования отрасли. С этой целью обосновано использование новых аналитических показателей, учитывающих ресурсозатратность пути и эксплуатационной работы.
2. Сформированы удельные (на единицу потребительных свойств транспортной продукции) значения показателей эффективности лубликации по электроэнергии на тягу поездов и интенсивности износа гребней бандажей колесных пар локомотивов. Такой подход позволяет использовать граничные значения коэффициентов для оценки применения системы лубликации, при любых условиях эксплуатации, включая оценку плана и профиля пути.
3. Определены границы значений введенных коэффициентов эффективности лубликации, определяющих экономический эффект.

4. Определена взаимосвязь продолжительности жизненного цикла системы лубрикации с ее технико-экономическими характеристиками, условиями эксплуатации и задаваемой программы ресурсосбережения на тягу поездов.

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на XIII Научно-практической конференция "Безопасность движения поездов 2012" (Москва, 2012 г.) и Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспорта» (Москва, 2013 г.). Материалы исследования использованы в учебном процессе по дисциплинам «Экономика отрасли», «Менеджмент» для студентов специальности «Организация перевозок и управление на транспорте» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТа).

Публикации. Основные результаты исследований, представленные в диссертации, опубликованы в десяти научных работах общим объемом 2,59 п.л., в том числе пять статей объемом 1,76 п.л. – в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией России (авторский вклад 1,43 п.л.).

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка (164 наименования) и четырех приложений. Объем диссертации составляет 200 страниц машинописного текста, включающего в себя 28 рисунков, 45 таблицы и 67 формул.

1. ЗАВИСИМОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ОТ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»

1.1. Влияние триботехнических характеристик системы «колесо-рельс» на экономические показатели работы отрасли

«Колесо-рельс» - наиболее ответственный и тяжело нагруженный узел трения. Взаимодействие этой пары трения определяет массу поезда, себестоимость и безопасность перевозок, материалоемкость, энергоемкость транспортной продукции и т.д. На рисунке 1.1 представлена качественная связь параметров процессов трения в системе «колесо-рельс» с экономическими показателями работы железнодорожного транспорта.

Фрикционными параметрами пары «колесо-рельс» определяется их износ. По данным работы [63], стоимость ремонта колесных пар составляет 10-15% от стоимости капитального ремонта локомотива, 5-6% от стоимости всех видов ремонта локомотива, расход металла на ремонт колесных пар составляет 40% от общего расхода металла при ремонте подвижного состава. Необходимо отметить, что 50% бандажей вследствие большой потребности и ограниченных возможностей отечественной промышленности, приобретается за рубежом.

В последнее десятилетие отмечен рост удельного расхода электроэнергии на тягу поездов. Это происходит по многим причинам, в том числе и за счет увеличения сопротивления движению [74]. С экономической точки зрения это означает, что повышение удельного расхода энергии на тягу поездов и рост цен на энергоносители провоцирует рост энергетической составляющей в эксплуатационных расходах, которая на 01.01.2010 г. составляла значительную часть: 29% расходов локомотивного хозяйства и 10,4% общехозяйственных расходов железных дорог. [74, 149]. Следовательно, изменения потерь энергии при движении локомотива оказывают значительное влияние на эксплуатационные расходы локомотивного хозяйства и железных дорог в целом. Конкуренцию можно рассматривать как элемент рыночного механизма управления

холдингом «РЖД». Именно она обеспечивает единство действия всех элементов рыночного механизма, объединяя в единое целое все хозяйствующие субъекты в процессе производства и сбыта продукции транспортной отрасли. Большое внимание проблеме конкурентоспособности народного хозяйства России уделено в Концепции национальной безопасности РФ от 10.01.2000 [68].

В Концепции отмечается, что важнейшими задачами для России являются опережающие развитие конкурентоспособных отраслей и производств на основе введения механизма выявления и развития прогрессивных технологий. Для железнодорожного транспорта проблема конкурентоспособности многоплановая. Уровень эффективности железнодорожного транспорта, уровень конкурентоспособности ассортимента и качества услуг, предоставляемых пользователям, определяются внешними и внутренними факторами конкурентоспособности транспортной продукции. Внутренние факторы включают возможности технических ресурсов и экономико-технологического потенциала холдинга «РЖД» [4].

Конкурентоспособность холдинга «РЖД» можно определить по формуле

$$E_U = \frac{U}{C_n + \Delta C_{дон}} \quad (1.1)$$

где U – интегральный показатель, отражающие результативность работы с учетом совокупного экономико-технологического потенциала и качества транспортной продукции;

C_n – цена перевозки;

$\Delta C_{дон}$ – составляющая цены, определяемая дополнительными затратами, зависящими от качества транспортного обслуживания;

$$U = P_o \varphi \sum a_i u_i$$

P_o – потенциальный объем перевозок, т;

φ – коэффициент интенсивности использования экономико-технологического потенциала;

a_i – удельный вес (ранг) каждого показателя качества;

u_i - показатели качества профильных услуг, оказываемых клиентуре, в том числе безопасность перевозки.

Как видно из формулы 1.1, рост конкурентоспособности железнодорожного транспорта возможен за счет повышения интенсивности использования экономико-технологического потенциала и снижения величины транспортных затрат за полный жизненный цикл системы (объекта, технического средства, технологии, отдельной поставки).

При этом параметры экономической оценки эффективности транспортно-технологических систем позволяют определить условия формирования тарифов, отражающих эффективность и конкурентоспособность транспортной продукции, приведены на рисунке 1.1.

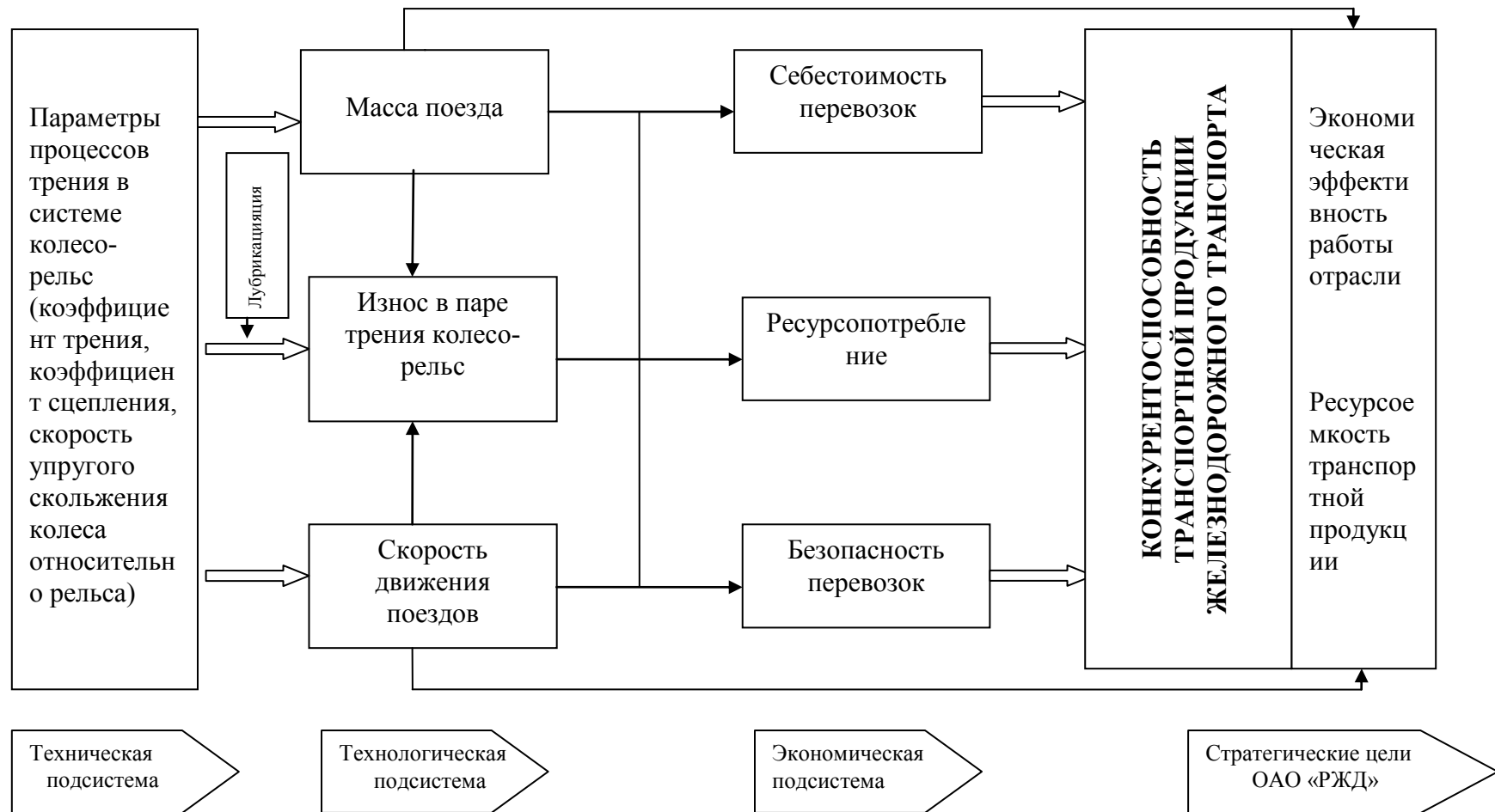


Рисунок 1.1 - Взаимосвязь подцелей технической, технологической, экономической подсистем корпоративного механизма управления со стратегическими целями развития ОАО «РЖД» до 2030 года

Как указывается в работах А.Т. Романовой, Г.П. Мокриденко [131, 132, 134], основной источник потерь энергии при движении локомотива - трение во фрикционных узлах. В работе [134] приведена предельная оценка затрат энергии локомотива на работу по преодолению сил трения во всех триботехнических узлах подвижного состава - не менее 68 % от энергопотребления на тягу поездов. В работе Л.А. Мугинштейна [103] отмечено, что энергия проскальзывания колес относительно рельсов составляет от 1 до 4% энергопотребления на тягу поездов. Затраты энергии от трения в системе "колесо-рельс" зависят от многих факторов, в том числе от скорости движения локомотива, коэффициента трения между колесом и рельсом, скорости упругого скольжения колеса относительно рельса. Представляется целесообразным оценить долю затрат энергии в системе "колесо-рельс" в целом по сети. Затраты энергии при взаимодействии колеса и рельса определяются участком движения поезда (прямолинейный или криволинейный) а также режимом движения (тяга и выбег). На основании работ специалистов ВНИИЖТа [63], других авторов [78, 82] оценена доля потерь энергии в системе "колесо-рельс" в общих энергозатратах на тягу поездов. Эта доля составляет от 4 до 16 % общего энергопотребления на тягу поездов в зависимости от реализуемого коэффициента трения. Оценка произведена для движения гипотетического поезда со среднесетевыми показателями по массе, удельному энергопотреблению, технической скорости. Расчет является репрезентативным для оценки этой доли в целом по сети, поскольку произведен для среднесетевых условий движения (по плану пути и режимам ведения поезда).

1.2. Зависимость экономических показателей работы железнодорожного транспорта от характеристик системы «колесо-рельс»

Экономическая эффективность работы железнодорожного транспорта зависит от технико-организационного уровня отрасли и конъюнктурных параметров рынка. Представляется важным оценить влияние параметров взаимодействия колесо-рельс на уровень технологии перевозок, что можно сделать через коэффициент использования энергоресурсов, который является агрегированным показателем технологического

уровня железнодорожного транспорта [134]. В свою очередь, эффективность использования энергоресурсов связана с эффективностью использования других видов ресурсов железнодорожного транспорта и его рентабельностью. В настоящее время 1% увеличения коэффициента использования энергоресурсов дает 0,2-0,3% роста рентабельности затрат в отрасли [132, 134].

Анализ связи коэффициента использования энергоресурсов и параметров взаимодействия в системе "колесо-рельс" может послужить базой выбора пути рационализации технологии отрасли, что позволит снизить эксплуатационные затраты.

Коэффициент η (коэффициент использования энергоресурсов) определяется как отношение оценки минимально необходимой кинетической энергии, сообщенной перевозимым грузам W_k и обусловленной потребительскими требованиями к транспортной продукции, к суммарным энергозатратам на тягу поездов W_Σ . При его определении исходят из того, что энергия, затрачиваемая локомотивом при движении поезда, расходуется на сообщение потребительских свойств грузу (его перемещение) и на потери, обусловленные различными факторами. При этом оценка кинетической энергии перевозимых грузов в агрегированной форме отражает объем перевозимых грузов и наименьшее среднее время нахождения грузов в пути [42, 70, 134]. Коэффициент использования энергоресурсов определяется следующим образом:

$$\eta = \frac{W_k}{W_\Sigma} = \frac{W_k / W_\Sigma}{(W_k + \Delta W_d) / W_\Sigma + W_{k-p} / W_\Sigma} \quad (1.2)$$

где W_k - оценка кинетической энергии перевозимых грузов (агрегированный энергетический показатель потребительских требований к транспортной продукции);

W_Σ - суммарные энергозатраты на тягу поездов;

W_k / W_Σ - оценка доли кинетической энергии в общих энергозатратах на тягу поездов;

$(W_k + \Delta W_d) / W_\Sigma$ - оценка доли кинетической и диссипативной части энергии на тягу поездов за исключением той части, которая расходуется в контакте «колесо-рельс», в общих энергозатратах на тягу поездов;

W_{k-p} / W_{Σ} - доля потерь энергии в системе "колесо-рельс" при движении локомотива (оценка затрат энергии на преодоление работы сил трения в паре "колесо-рельс" в общих энергозатратах на тягу поездов).

График зависимости коэффициента использования энергоресурсов от доли энергии проскальзывания колеса относительно рельса в общих энергозатратах на тягу поездов приведен на рисунке 1.2 [80].

Анализ зависимости позволил выделить долю энергии, затраченную на трение

$$\eta = \frac{W_k}{W_k + \Delta W_d + \alpha f} \quad (1.3)$$

где f - коэффициент трения между колесом и рельсом;

α - коэффициент пропорциональности между коэффициентом трения и энергией взаимодействия колеса и рельса.

Это аналитическое представление позволило оценить влияние реализуемого коэффициента трения на эффективность использования трудовых ресурсов [134]. Производительность труда в отрасли связана с коэффициентом использования энергоресурсов η приведенным ниже соотношением:

$$Pr_{mp} = K_{np} \text{Эн.вооруж.тр} \frac{2L}{KV_m^2} \eta \quad (1.4)$$

где V_m - средняя техническая скорость;

Эн.вооруж.тр - энерговооруженность труда;

Pr_{mp} - производительность труда;

L - средняя дальность перевозок грузов;

K_{np} - коэффициент, учитывающий плановые остановки и разгоны поезда и перевод размерности энергии из системы СИ в тоннах условного топлива или кВт.ч.

Соотношение между планируемыми значениями показателей эффективности использования ресурсов и условиями эксплуатации позволяют определить один из критериев технических решений - соотношение между затратами энергии в системе колесо-рельс и энергией, определяющей потребительные свойства транспортной продукции.

$$\frac{W_{к-р}}{W_k} \Leftarrow \frac{k_{np} \text{Эн.вооруж.}}{Pr_{mp}} \cdot \frac{2L}{kV_m^2} \quad (1.5)$$

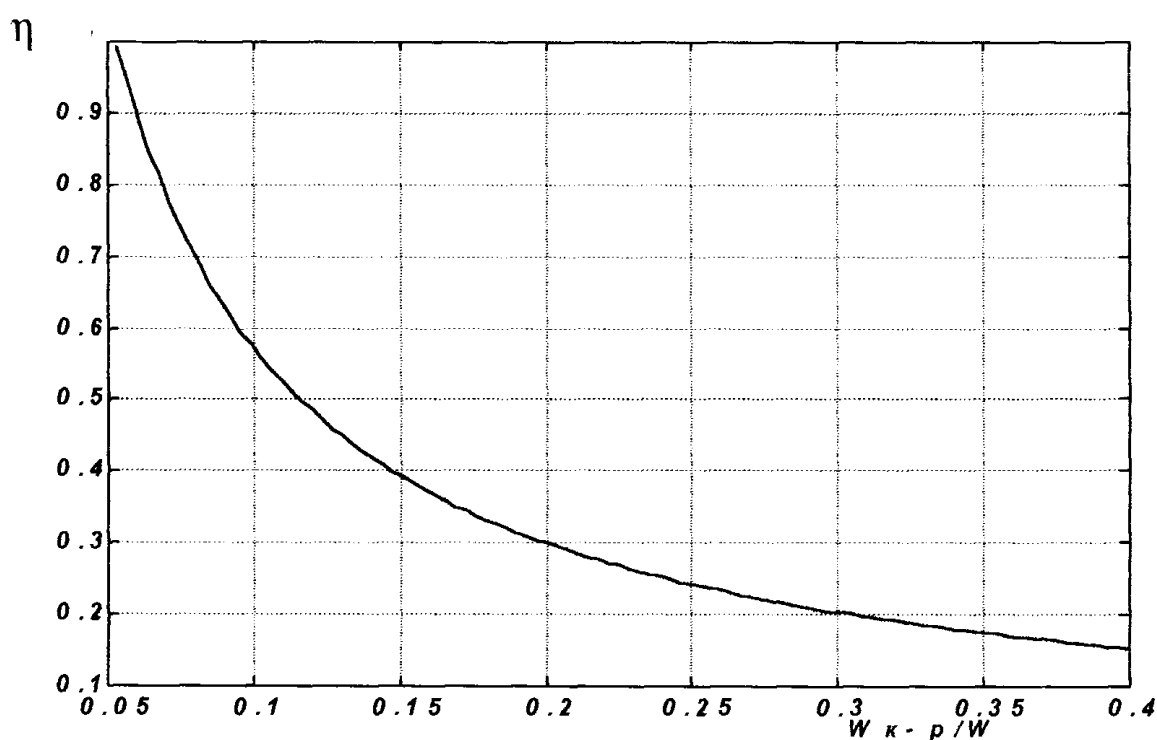


Рисунок 1.2 - Зависимость коэффициента использования энергоресурсов (при средней дальности перевозки грузов 1070 км, удельном энергопотреблении

$\gamma_э = 148 \text{ кВт ч} / 10^4 \text{ т км брутто}$, $\gamma_m = 56,8 \text{ кг у.т.} / 10^4 \text{ т км брутто}$) от доли потерь на трение в системе "колесо-рельс" ($W_{к-р}$) в общих энергозатратах на тягу поездов (W_Σ)

Анализ соотношения (1.5) показал, что производительность труда связана обратно пропорциональной зависимостью с затратами энергии в системе «колесо-рельс». При эволюции технологии, связанной со снижением доли потерь энергии в системе «колесо-рельс», происходит увеличение производительности труда в отрасли при тех же энергозатратах.

Таким образом, эффективное управление потерями энергии в системе «колесо-рельс» является важнейшим системообразующим фактором. Результат изменения эффективности использования комплекса ресурсов от работы системы колесо-рельс представлен в работе А.Т. Романовой [134], где выявлена функциональная зависимость между коэффициентом использования энергоресурсов и таким интегральным показателем эффективности работы отрасли как рентабельность по себестоимости:

$$R_c = \frac{Ц}{Ц_{\text{э}}} C_{\text{э}}^x \cdot \frac{2L}{kV_m^2} \eta - 1 \quad (1.6)$$

где $C_{\text{э}}^x$ - доля энергозатрат в себестоимости измерителя перевозочной работы;

$Ц$ - тарифы на перевозочную работу;

$Ц_{\text{э}}$ - цены на энергоносители;

V_m - средняя техническая скорость;

L - средняя дальность перевозок грузов.

Анализ R_c и экономических ограничений позволил сформировать еще одну связь между $\frac{W_{\kappa-p}}{W_k}$ и требованиями рынка:

$$\frac{\frac{Ц}{Ц_{\text{э}}} C_{\text{э}}^x \frac{2L}{kV_m^2}}{R_c + 1} - 3 \leq - \frac{W_{\kappa-p}}{W_k} \quad (1.7)$$

где W_k - оценка кинетической энергии перевозимых грузов (агрегированный энергетический показатель потребительских требований к транспортной продукции);

$W_{\kappa-p}$ - оценка затрат энергии в системе "колесо-рельс".

Полученное выражение может быть использовано как ограничение на потери в системе «колесо-рельс» при заданном значении рентабельности по себестоимости в работе отрасли [134]. Зависимость (1.7) можно охарактеризовать как способ оценки влияния рынка на условия работы пары трения «колесо-рельс» и использовать для выбора триботехнических характеристик пары «колесо-рельс» в соответствии с конъюнктурными (тарифы на перевозочную работу, цены на энергоносители) условиями работы железнодорожного транспорта. Этот анализ показывает актуальность выбора технологий управления взаимодействием в системе «колесо-рельс».

Таким образом, через коэффициент использования энергоресурсов выявлены связи экономических показателей работы отрасли (производительности труда, рентабельности по себестоимости) и триботехнических параметров взаимодействия "колесо-рельс", которые могут быть использованы как условие выбора триботехнических характеристик работы системы "колесо-рельс" в соответствии с экономическими и эксплуатационными показателями работы железнодорожного транспорта. Чувствительность η к изменению энергии проскальзывания и, тем самым, к изменению триботехнических параметров взаимодействия пары «колесо-рельс», отражена через эластичность функции коэффициента использования энергоресурсов по доле потерь энергии в системе «колесо-рельс» $E_{\eta/W_{\kappa-p}/W_{\Sigma}}$

$$E_{W_{\kappa-p}}(\eta) = \frac{W_{\text{кин}} \cdot W_{\kappa-p} / W_{\Sigma}}{(W_{\text{кин}} + \Delta W_{\text{дис}}) \cdot W_{\kappa-p} / W_{\Sigma}} / W_{\kappa-p} \quad (1.8)$$

где η - коэффициент использования энергоресурсов;

$W_{\kappa-p} / W_{\Sigma}$ - оценка доли потерь энергии в системе "колесо-рельс" в общих энергозатратах на тягу поездов.

Эластичность коэффициента использования энергоресурсов по затратам энергии в системе "колесо-рельс" $E_{W_{\kappa-p}/W}(\eta)$ представлена на рисунке 1.3, откуда следует, что уменьшение на процент энергозатрат в системе колесо-рельс может дать рост η на 1,67 %.

Оценивая $\eta(W)$ и $E_{W_{k-p}}(\eta)$ можно проверить целесообразность проводимой технической политики в отрасли, направлений и объемов инвестиций в отрасли (динамика коэффициента эластичности позволит оценить технологическую эффективность инвестиций и наиболее целесообразные направления рационализации работы системы «колесо-рельс»).

$$E_{W_{k-p}}(\eta)$$

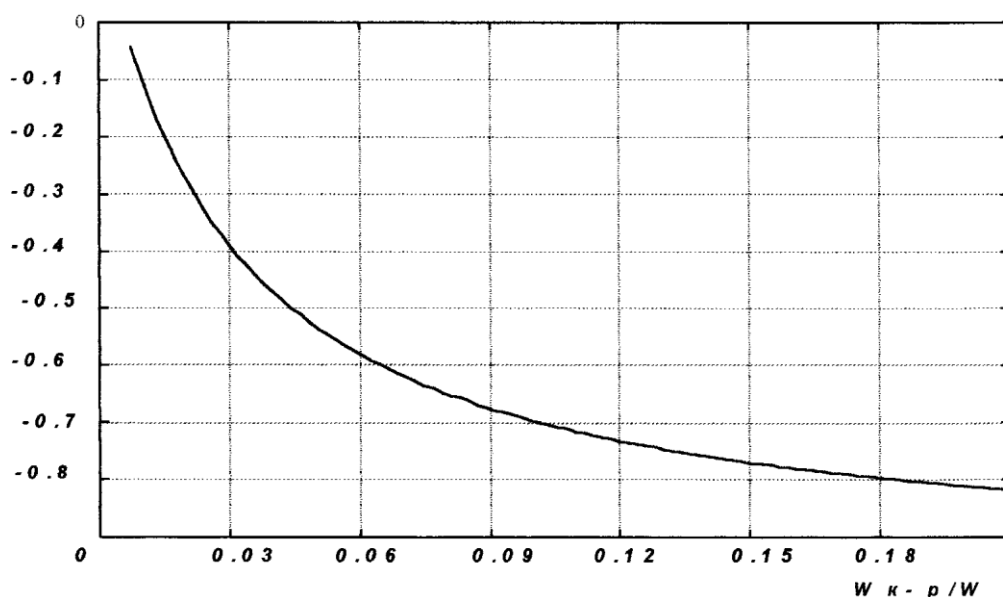


Рисунок 1.3. - Эластичность коэффициента использования энергоресурсов (при средней дальности перевозки грузов 1070 км, удельном энергопотреблении $y_s = 148$ кВт ч/ 10^4 ткм брутто, $y_m = 56,8$ кг у.т./ 10^4 ткм брутто) по потерям энергии в системе «колесо-рельс» (W_{k-p})

Изменение коэффициента использования энергоресурсов отстает от динамики инвестиций в развитии отрасли примерно на 2,5 года [133]. Временной лаг определяется технической политикой в отрасли.

Применение современных разработок в области триботехнических систем транспортных средств позволит не только сэкономить ресурсы, но и сократить продолжительность указанного временного лага, что позволит снизить себестоимость перевозок, повысить экономические результаты работы отрасли.

Проведенный технико-экономический анализ мероприятий показал, что в прошлом и настоящем многие технические и технологические решения в отрасли принимались с целью устранить негативные изменения эксплуатационных показателей любыми средствами. В итоге не устранялась причина, а только сглаживались последствия и возникали новые проблемы. Как отмечается в [133], использование современных триботехнических разработок и оценка условий их эффективного применения - одно из наиболее перспективных направлений повышения эффективности работы отрасли, ее ресурсосбережения.

Колесо и рельс являются тяжело нагруженной парой трения. Проведенный в параграфе 1.1 данной работы исторический анализ указывает на то, что принятие решений об изменении условий работы системы «колесо-рельс» без надлежащего системного анализа, приводит к углублению проблем, связанных с работой этого узла трения.

Классификация мероприятий по снижению износа произведена на основании работ [4, 33, 48, 57, 60, 69, 72, 81, 86, 108, 135, 150, 151, 154] и базируется на второй триаде трения И.В. Крагельского, А.В. Чичинадзе [71, 73], которая гласит, что уровень трения и износа определяется конструкцией, свойствами материала и условиями эксплуатации узла трения.

В таблице 1.1 дана классификация конкретных мероприятий, направленных на улучшение взаимодействия в зоне контакта колеса и рельса и снижение уровня износа. Это сделано для того, чтобы показать общность ряда проблем, которые возникают при решении вопроса об экономически эффективных способах регулирования триботехническими параметрами взаимодействия колеса и рельса; выработать единый алгоритм оценки экономической эффективности мероприятий по снижению потерь на трение в системе «колесо-рельс», которые связывают триботехнические параметры системы «колесо-рельс» и экономические показатели работы транспорта.

Объективная оценка экономической эффективности мероприятий по снижению потерь на трение будет способствовать внедрению мероприятий, повышающих надежность технических средств, безопасность эксплуатационной работы, выбору приоритетов управления инвестициями и затратами.

Таблица 1.1 - Классификация мероприятий по снижению износа в системе «колесо-рельс»

Направления мероприятий	Мероприятия	Достоинства	Недостатки
Применение смазки	1.Смазка боковой поверхности наружного рельса в кривых и гребней колес подвижного состава [14, 17, 33].	1. Снижает энергозатраты на тягу поездов. 2. Снижение эксплуатационных расходов, связанных с износом.	1. Смазка выдавливается на поверхность катания, уменьшая коэффициент сцепления колеса с рельсом.
Изменения в конструкции	1.Оптимизация макрогеометрии и профилей колеса и рельса [69]. 2.Управление движением экипажа [17]. 3.Оптимальная передача тяговых усилий [135].		Требуют значительных инвестиций.
Изменение свойств материалов	1. Плазменное, воздушно-плазменное и лазерное упрочнение гребней колес [33, 60, 72, 86, 113]. 2.Дифференциация колесной стали для различных участков движения поездов.	Устраняет неравнозначность пластических деформаций в колесе и рельсе, вызванное их различными механическими характеристиками.	Несовершенство технологии упрочнения. Энергозатратен.
Изменение условий эксплуатации	1. Убрать излишнее возвышение наружного рельса в кривых [82]. 2.Произвести расширение колеи в кривых [100]. 3.Применять карты районирования фрикционных свойств поверхности рельсов для выбора эксплуатационных параметров и режимов движения [66, 80].	1.Вариант районирования не требует значительных финансовых затрат.	1. Уширение колеи и устранение избытка возвышения наружной нити в кривых требуют значительных финансовых затрат и времени осуществления. 2. При выборе варианта районирования требуются дополнительные исследования.

Восстановление изношенных поверхностей	1. Оптимизация стратегии обточки. 2. Отжиг поверхностей катания перед обточкой [151]. 3. Удаление поврежденного слоя иглофрезованием [135].	Экономия ремонтных затрат.	
--	---	----------------------------	--

1.3. Анализ эффективности мероприятий по снижению экономических потерь в системе «колесо-рельс»

Для объективной оценки экономической эффективности триботехнических мероприятий представляется целесообразным оценивать мероприятия по их влиянию на основные факторы, определяющие трение и износ в системе «колесо-рельс».

Основными факторами, влияющими на уровень трения и износа в системе «колесо-рельс» [17, 21, 54, 77, 81], являются:

- удельные нагрузки в зоне трения;
- физико-химические и фрикционные свойства дорожек трения колеса и рельса при их взаимодействии;
- скорость скольжения колеса по рельсу.

Результаты анализа эффективности основных мероприятий, уменьшающих воздействие этих факторов на износ в системе «колесо-рельс», приведены в таблице 1.2.

Удельные нагрузки в зоне трения могут быть изменены в результате мероприятий организационного характера. Для снижения максимальных удельных нагрузок в зоне контакта колеса с рельсом требуется принятие согласованных решений службами пути, локомотивного, вагонного, грузового хозяйств [76].

Физико-химические и фрикционные свойства дорожек трения колеса и рельса при их взаимодействии зависят от свойств материалов колеса и рельса, а также от состояния поверхностей трения.

Скорость относительного скольжения колеса по рельсу оказывает наиболее сильное воздействие на потери энергии локомотива, чем другие факторы. Уровень скольжения колеса относительно рельса зависит от конструктивных особенностей подвижного состава, плана и профиля пути, режима ведения поезда. При движении локомотива в тяговом режиме вынужденное скольжение колеса локомотива относительно рельса выше, чем в режиме свободного качения. По данным специалистов ВНИИЖТа [63], этот уровень составляет примерно 6,5% от скорости

Таблица 1.2 - Факторы, определяющие уровень трения и износа в системе «колесо-рельс»

Факторы, влияющие на износ	Мероприятия	Достоинства и недостатки
Удельные нагрузки в зоне трения	1. Устранение зауженности колеи [78, 96]. 2. Управление движением тележек экипажной части подвижного состава [17]. 3. Снизить допуск на боковой износ рельсов для повышения площади контактирования между колесом и рельсом [72]. 4. Согласованность разных служб МПС в принятии решений [72].	Требуют значительных инвестиций и времени осуществления. Консервативность и инертность в работе.
Физико-химические и фрикционные свойства дорожек трения колеса и рельса при их взаимодействии	1. Повышение прочности материалов колес и рельсов [57, 109, 46]. 2. Использование вариантов районирования фрикционных возможностей для определения сезонных коэффициентов сцепления [131,96].	1. Ограничено необходимостью механической обработки колес. 2. Не требует значительных финансовых вложений, дает немедленный результат. Требуется дополнительных исследований.
Скорость скольжения колеса по рельсу	1.Расширение колеи, особенно в кривых малого радиуса [96]. 2.Использовать мониторинг уровня сцепления [76, 62]. 3.Уменьшить допустимое избыточное скольжение для подвижного состава [72].	1. Значительные инвестиции. 2. Требуется затрат на изготовление соответствующих приборов. 3. Значительные инвестиции и временной лаг результата.

поступательного движения локомотива. По мнению других авторов [66, 132], скольжение колеса локомотива относительно рельса в режиме тяги, вызванное принудительной установкой колесной пары в рельсовой колее, в 2-3 раза больше, чем при свободном качении. Следует отметить, что тяговый режим составляет примерно 52,7% всего времени движения локомотива [63].

Технико-физическая природа основного источника потерь от трения - это проскальзывание колес относительно рельсов [18, 20, 57, 63, 75, 103]. В таблице 1.3 приведены характеристики участков проскальзывания и указаны методы возможного снижения его уровня и основные мероприятия, снижающие уровень проскальзывания колеса относительно рельса при движении локомотива.

Таблица 1.3 - Основные мероприятия по снижению уровня проскальзывания в системе «колесо-рельс» на различных участках движения поезда

Участки пути	Чем обусловлен уровень проскальзывания колес относительно рельсов	Основные мероприятия по снижению уровня проскальзывания
Прямые	1. Конструкцией экипажной части тележек подвижного состава. 2. Особенности передачи тяговых усилий.	1. Мониторинг коэффициента сцепления. 2. Противобуксовочные системы. 3. Усовершенствованная подача песка [80]. 4. Использование СВЧ, ультрафиолета
Кривые	Особенностями вписывания колесной пары в кривую.	1. Мониторинг коэффициента сцепления. 2. Противобуксовочные системы. 3. Управление движением экипажа в

Технико-экономический анализ стратегических направлений в технической политике на железнодорожном транспорте, определяющих оценки эффективности системы «колесо-рельс»

Проблема интенсивности износа колеса и рельса на железных дорогах России связана с ужесточением режима нагружения колеса и рельса, обусловленного

конструктивными недостатками подвижного состава и пути, а также организационно-управленческими мероприятиями, проводимыми на железнодорожном транспорте СССР и России [20, 67].

Интенсивность износа гребней колес локомотивов и бокового износа рельсов начинает возрастать с 50-х годов прошлого века, в связи с переходом подвижного состава на новые виды тяги [105].

ВНИИЖТ по поручению МПС СССР начал разрабатывать мероприятия, направленные на снижение износа в системе «колесо-рельс» [63]. После проведенных исследований работы по снижению износа велись по двум направлениям:

- поиск рациональных профилей колеса и рельса;
- создание напольных лубрикаторов, гребнесмазывателей и новых видов смазочных материалов.

Исследовательские работы завершились созданием нового профиля рельса и объединенного профиля колеса для всего подвижного состава. Использование объединенного профиля для всего подвижного состава предполагало, что депо, ведущие эксплуатацию и ремонт локомотивов, электро- и дизель поездов и вагонов, будут иметь единый технологический процесс, станочное оборудование и измерительный инструмент. Это должно было привести к сокращению ремонтных затрат, унификации производства запасных частей для ремонтного оборудования. В перспективе при увеличении скорости движения и нагрузки на ось вагонов предполагалось производить и использовать цельнокатанные колеса для всего подвижного состава. Однако отрицательная позиция ГУ вагонного хозяйства МПС к этому подходу не позволила осуществить переход на объединенный профиль колес, несмотря на одобрение и рекомендации к внедрению этого предложения на НТС МПС в 1958 году [19]. Специалистами ВНИИЖТа также были предложены следующие мероприятия: уменьшение процента кривых на участках обращения локомотивов, добавляя к участкам с большим числом кривых участки, не имеющие кривые малого радиуса; введение смазки рельсов в кривых участках пути или применение гребнесмазывателей на локомотивах. Частичное проведение этих мероприятий позволило на некоторых участках и в депо уменьшить интенсивность бокового износа рельсов и гребней

колесных пар локомотивов. Снижению остроты проблемы, обусловленной увеличением числа обточек при интенсивном износе гребней, способствовало введение в 1956 году станков для обточки колесных пар без выкатки типа КЖ-20.

На основании исследований ВНИИЖТ и МИИТ о зависимости боковых сил и удельных давлений в системе «колесо-рельс» от ширины колеи в Правила Технической Эксплуатации железных дорог СССР (ПТЭ) в 1972 году было внесено изменение ширины колеи с 1524 мм на 1520 мм.

В настоящее время мнения, как научных исследователей, так и практиков часто противоположны. Существуют убедительные аргументы (например, в трудах М.С. Яхова, О.П. Ершкова [163], А.Ф. Золотарского [164], СВ. Вертинского [162], Л.П. Мелентьева [93], В.Н. Шестакова [165] и др.) в поддержку такой точки зрения - сужение колеи обуславливает снижение динамического воздействия подвижного состава на путь, уменьшение предельно возможного угла набегания колес подвижного состава на рельс, обеспечивает более плавное движение поездов. Их оппоненты (Л.П. Буйносов, В.С. Клинский) приводят следующие данные: при переходе на колею 1520 мм прогнозируемый ресурс рельсов уменьшился на 30%, а бандажей колесных пар на 20%.

Е.П. Корольков в докторской диссертации [70] приходит к выводу, что радикальным методом уменьшения износа гребней колес и сопротивлению движению является восстановление уширений и расстояния между рельсами 1524 мм, а установленный в настоящее время зазор между колесными парами и рельсами вызывает интенсивный износ гребней колес, боковых поверхностей рельсов и дополнительные силы сопротивления движению.

Учеными ВНИИЖТа разработана методика технико-экономического сравнительного анализа эксплуатационных показателей до и после перехода на колею 1520 мм [96].

По мере увеличения протяженности железных дорог с шириной колеи 1520 мм износ колес и рельсов нарастал. Началась систематическая замена при капитальных ремонтах слабых конструкций пути с более легкими и податливыми рельсами типа Р43 и Р50 на более тяжелые Р65. В путь стали укладывать упрочненные рельсы при

неизменных размерах и параметрах материала колесных пар и бандажей подвижного состава [104].

В результате унификации колеи дорожки катания колес и рельсов сместились внутрь колеи. Это привело к увеличению колебаний фрикционных возможностей между колесами одной колесной пары, особенно при прохождении ее по кривым малого радиуса, что способствует их дополнительному скольжению и износу.

Увеличение норм бокового износа рельсов с 15 до 20 мм привело к тому, что колесо, перекатывающееся по наружной нитке кривой, контактирует с рельсом только по гребню и не имеет опоры на поверхности катания, при этом существенно - в 1,5 - 2 раза - уменьшая площадь контактирования колеса с рельсом. Из-за неравномерности загрузки вагонов в отдельных случаях достигается статическая нагрузка на одно колесо до 18-20 т, а направляющие усилия на гребне колеса могут превосходить нормируемую по безопасности движения величину (14 т). Все это приводит к чрезмерным напряжениям, возникающим между колесом и рельсом, и способствует интенсивному их изнашиванию.

Проблема интенсивного износа в контакте "колесо-рельс" обострилась на "стыке двух взаимоисключающих направлений в решении интенсификации перевозочного процесса" [14]. В 60-е годы задачу повышения пропускной способности дорог предлагалось решать за счет увеличения максимальных скоростей движения - до 100 км/ч для грузовых поездов и до 160 км/ч для пассажирских поездов дальнего следования. Путь и подвижной состав, предназначенные для вышеозначенных условий эксплуатации, проектировались и выпускались в последующие десятилетия.

К 80-м годам сеть железных дорог была оснащена техническими средствами, определенными для движения с высокими скоростями, параметры пути - возвышение и подуклонка наружных рельсов в кривых - были предназначены для прохождения составов с высокими скоростями движения [93].

Объемы перевозок возрастали высокими темпами. Для повышения пропускной способности на важнейших направлениях (Транссибирский ход, Западный ход - через Львов, Ужгород и т.д.) и осуществления все возрастающих перевозок начиная с 1985 года на сети начала внедряться интенсивная технология эксплуатационной работы -

вождение тяжеловесных поездов. Увеличение массы поезда достигалось двумя способами:

- повышением длины состава (в т.ч. вождение сдвоенных, строенных составов), что ограничено длиной станционных путей;
- увеличением загрузки вагонов (рост статических нагрузок на колесную пару вагонного парка увеличился до 23 - 25 тонн).

Решение об интенсификации перевозочного процесса через повышение осевых нагрузок и массы поездов, требующее в имеющихся эксплуатационных условиях снижение скоростей движения, является диаметрально противоположным направлением интенсификации перевозочного процесса повышением максимальных скоростей движения, которое было принято ранее.

В апреле 1985 г. вышло указание МПС о загрузке существующих вагонов до 72 тонн со снижением скорости движения поездов, в составе которых был хотя бы один такой вагон, до 30 км/ч при прохождении кривых $R < 350\text{м}$ и до 40 км/ч при прохождении кривых $350\text{м} < R < 650\text{м}$, а в феврале 1987 года - до 80 т (вагоны ПЗ). При этом возвышение наружного рельса в таких кривых, предназначенное для более высоких скоростей, осталось прежним [75]. Прекращено действие указания только с 01.04.90г. (телеграмма министра № 322 от 28.03.90г.).

К началу обвального износа колес и рельсов, нормальные нагрузки на колесо выросли от 4-6 тонн для порожнего и до 12 тонн для перегруженного вагона, касательная сила (в зависимости от кривизны пути) возросла до 14 тонн, горизонтальная сила тяги и торможения меняется в пределах от 6 до 20 тонн на колесо. На эти статические силы накладываются еще силы, связанные с перекосом тележек, зауженностью пути (против нормативной) и динамические воздействия. Увеличение допуска на боковой износ рельсов свыше 10 мм привело к тому, что на отдельных участках кривых площадь контактирования между колесом и рельсом, по мере их износа, стала уменьшаться. Все это привело к значительному увеличению удельных давлений в зоне контакта колеса и рельса, повышению роли пластической деформации при их фрикционном взаимодействии, что приводит к увеличению материалоемкости транспортной продукции [139].

Густота движения на определяющих направлениях продолжала расти и одновременно снижались скорости движения поездов по перегонам (участковые, технические). При прохождении поездов по участкам с горным типом профиля (Дальневосточная, Забайкальская, Кемеровская, Восточно-Сибирская, Западно - Сибирская, БАМ, Львовская ж.д. и др.) резко возрос по интенсивности износ гребней бандажей локомотивов и боковой износ рельсов на участках пути с кривыми. Следует отметить, что кривые $R < 650$ м составляют в среднем 12,2 % по сети в целом, а на отдельных дорогах до 25 % и более, например, на Забайкальской железной дороге - 38,2%, а на отдельных ее участках (Сковородино-Магдагачи) - 42%. [5, 24, 59, 90]. Таким образом, разбалансировка системы «путь - подвижной состав» привела к вспышке катастрофического износа колес подвижного состава на железнодорожном транспорте [14].

Выход рельсов по износу, в т.ч. рельсов, уложенных в крутых кривых $R < 400$ м, в 1989 году по сравнению с 1984 годом увеличился более чем в 7 раз. Срок службы рельсов, выраженный в наработке тоннажа до образования нормативного бокового износа 15 мм, снизился в 4-5 раз, на отдельных участках до 20-40 млн тонн брутто [21]. В [32] отмечается, что возросло количество отцепок вагонов по износу гребня в 1984 году - 0,63% от общего числа отцепок, а в 1988 году - 2,21%.

Наибольшая интенсивность бокового износа характерна для кривых малого радиуса с подъемами и спусками, участками рекуперативного торможения. Характерной чертой бокового износа является его резкая нестабильность, большой разброс около средних значений. Интенсивность износа гребней колес вагонов и локомотивов имеет ярко выраженный сезонный характер, сильно зависит от толщины и величины проката локомотивного бандажа, бокового износа рельсов [63].

Резкое возрастание бокового износа рельсов и гребней колес в последние десятилетия обусловлено также возникновением качественно нового явления – адгезии, т.е. сцепления разнородных жидких или твердых тел в местах контакта их поверхностей из-за сильного межмолекулярного притяжения.

Его проявление сопровождается повышением удельного сопротивления движению, избыточным расходом энергии на тягу поездов [88].

Проблема износа усугубляется еще и тем, что ее увеличение произошло при спаде объема перевозочной работы, уменьшения массы поезда, без увеличения скорости их движения. Исследования природы фрикционного взаимодействия колес и рельсов позволяют утверждать, что одна из главных причин всплеска износа колес и рельсов заключается в отсутствии должного внимания к важности учета и использования природы фрикционного состояния поверхностей трения и формирования усилий между колесом и рельсом [76].

Лубрикация боковых поверхностей рельсов и их упрочнение оказало некоторое положительное воздействие, острота износа гребней колес подвижного состава и боковой грани головки рельса снизилась [14].

Лубрикация рельсов носит характер вынужденной инвестиции, при осуществлении которых требования к эффективности мероприятий отсутствуют, согласно делению капиталовложений на классы в зависимости от их цели, поскольку катастрофический износ гребней колес подвижного состава поставил под угрозу безопасность перевозок, а снижение ресурса бандажей локомотивов приводит к значительным материальным затратам и капитальным вложениям. В настоящее время требуется более обоснованный отбор экономически эффективных мероприятий по снижению потерь на трение в системе «колесо-рельс» [10].

Снижение интенсивности износа колес подвижного состава может носить временный характер. Многие авторы (А.Н.Митрохин [100], В.С. Лысюк [81], Ю.М. Лужнов и др.) отмечают, что смазка боковых граней рельсов и гребней колес локомотивов частично уменьшило остроту вопроса, но в целом проблему износа на сети дорог не решило. Отрицательный эффект мероприятий проявляется с некоторой задержкой во времени. Этот временной лаг обусловлен изменением физико-химических свойств поверхностных слоев колес и рельсов. Как неоднократно отмечалось многими, в том числе и вышеперечисленными авторами, для снижения износа и связанных с ним затрат необходимо оптимизировать взаимодействие колеса и рельса, опираясь на законы

молекулярной физико-химической теории трения, что отражено в модели, предложенной в работе профессоров Ю.М. Лужнова, А.Т. Романовой [76, 79].

При проведении некоторых технико-организационных мероприятий вначале наступает период положительных результатов, но со временем нарастают негативные последствия проведенных мероприятий.

Систематизация направлений технической стратегии МПС, проблем, возникающие в системе "колесо-рельс", направлений решения проблем и предлагавшихся способов их решения приведены в таблице 1.4.

Изменения уровня негативных последствий во времени носит ярко выраженный нелинейный характер. Это следствие проводимых технико-организационных мероприятий. Поэтому важно производить экономическую оценку изменения условий взаимодействия в системе «колесо-рельс» в результате этих мероприятий.

Представленный исторический анализ основных направлений совершенствования взаимодействия системы «колесо-рельс» показывает актуальность этой проблемы, начиная с 50-х г.г. и по настоящее время, общность негативных следствий от внедрения различных мероприятий, изменение триботехнических показателей взаимодействия в системе «колесо-рельс» при проведении различных технико-организационных мероприятиях и неоднозначность полученных результатов и выводов об эффективности мероприятий.

Таблица 1.4 - Техничко-экономическая актуальность по проблеме взаимодействия в системе «колесо-рельс»

Годы	Техническая стратегия на железнодорожном транспорте	Проблема, возникающая в системе «колесо-рельс»	Направления решения проблемы в узле трения «колесо-рельс»	Пути решения	Последствия
60-е	Интенсификация перевозочного процесса за счет увеличения максимальных скоростей движения до 100 км/ч для грузовых и 160 км/ч для пассажирских.	Путь и подвижной состав создавались с параметрами, соответствовавшими этому решению повышения пропускной способности дорог.			
70-е	1.Переход на новые виды тяги. 2.Введение станок КЖ-20 в 1956г. для обточки колесных пар без выкатки.	1.Возросла интенсивность износа рельсов в кривых $R < 1500$ м, гребней колес локомотивов на участках с кривыми. Сократился срок службы рельсов в кривых $R < 300$ м до 1,5-2 лет и бандажей локомотивов до 2-3 лет.	1.Разработка рациональных профилей колеса и рельса. 2.Снижение коэффициента трения в системе «боковая грань головки рельса-гребень колеса». 3.Уменьшение % кривых.	Введение смазки боковой грани рельсов в кривых и гребней колес.	Снижение эксплуатационных расходов, связанных с износом в системе «колесо-рельс».
70-е	1. В ПТЭ ж.д. СССР-изменение ширины колеи с 1524 мм до 1520 мм. 2.Укладка объемно-закаленных рельсов Р65 вместо Р43 и Р50. 3. Параметры колесных	1. Дорожки катания в узле «колесо-рельс» сместились внутрь колеи: при прохождении кривых возникает дополнительное скольжение. 2. Уменьшение площади контактирования колеса с	1.Приведение в соответствие твердости колес и рельсов [90, 113, 153, 91]	1. Повышение твердости колес и снижение твердости колес.	1. Повышение затрат, связанных с износом боковой грани головки рельса и гребней колес подвижного состава.

	пар и бандажей подвижного состава - без изменений.	рельсом; в наружной нити кривой - по гребню. 3.Возросли удельные давления в контакте «колесо-рельс».			
80-е	1.Направление интенсификации перевозочного процесса через повышение массы поездов. Разрешена загрузка вагонов до 72 т (апрель 85 г.), 80 т (февраль 87 г.) со снижением скорости в крутых кривых до 40 и 30 км/ч. 2.Увеличение норм бокового износа рельсов с 15 до 20 мм. 3.Перевод подвижного состава на подшипники качения.	1. Выросли нормальные нагрузки на колесо, удельные давления в зоне контакта "колесо-рельс". 2. Увеличилась доля пластических деформаций 3.Интенсивное изнашивание гребня колеса и боковой грани головки наружного рельса.	1 Снижение удельных давлений в контакте "колесо-рельс". 2.Снижение коэффициента трения пары "колесо-рельс".	1.Приведение возвышения наружной нити рельсов в кривых в соответствие с реальными скоростями движения поездов. 2.Нанесение антифрикционной смазки на боковую грань головки рельса. Совершенствование технологического цикла смазка- механизмы нанесения– технологические режимы-критерии оценки эффективности метода. 3. Введение новых улучшенных профилей колес.	
90-е	1. Отменено действие указания о повышенной загрузке вагонов 01.04.90 г. 2. Начало реализации программы лубрикации	1. Возникновение не встречавшегося ранее вида повреждения - схватывания. 2. Повышение удельного сопротивления движению поезда.	1. Оптимизация работы системы «колесо-рельс» на основе триботехнических закономерностей.	1. Прекращение гребнесмазывания жидкими мазками. 2. Повышение твердости и усталостной прочности ободьев	

контакта «колесо-рельс» (Указание МПС № 151 у от 25.11.94 г.), оснащение дорог техническими средствами лубрикации. 3. Основные направления снижения интенсивности износа в контакте «колесо-рельс» - лубрикация, наплавка гребней колес и их плазменное упрочнение. [10, 11,157]. 4. 1998 г. - выпуск новых колес с повышенной стойкостью к износу [87].	3. Рост разрушения поверхности колес и рельсов (выщербины на колесах подвижного состава, отслоения и выкрашивания металла на поверхности катания головки рельса: в 17 раз в 1995 г. по сравнению с 1989 г.).	2. Совершенствование технологии смазывания. Повышение износостойкости колес.	грузовых колес. 3. Смазка боковых поверхностей головки рельса в кривых и гребней колес подвижного состава. 4. Уменьшение величины бокового удельного давления в контакте «колесо-рельс» конструктивными способами.	
--	---	---	---	--

1.4 Анализ зарубежного и отечественного опыта по применению триботехнических мероприятий

Изучение зарубежного опыта, его анализ и обобщение (Приложение 4) подтверждают, что применение системного подхода к проектированию и содержанию области взаимодействия колеса и рельса в виде совокупного передового опыта приводит к минимизации изнашивания боковой поверхности головки рельса и гребней колес, снижению числа дефектов колес и рельсов, обеспечению устойчивой работы тележек, включая вопросы безопасности и минимизации уровня выделяемого шума.

На работу системы «колесо-рельс» в разной степени оказывают влияние около 60 факторов [107]. Для управления этими факторами научные исследования и технические разработки можно объединить в четыре основные группы по областям:

1. Исследование динамики процессов в системе «колесо-рельс»;
2. Моделирование с использованием теорий механики контактного взаимодействия;
3. Совершенствование материалов колес и рельсов;
4. Управление трением на основе использования лубрикации.

Технологические мероприятия ведущих железных дорог мира показали значительное ускорение и увеличение разработок и внедрение триботехнических мероприятий по наиболее ответственному элементу трибосистемы «колесо-рельс» вызванное активным развитием высокоскоростного и тяжеловесного движения. Опубликованные результаты технико-экономических расчетов свидетельствуют о высокой эффективности инвестиций триботехнических мероприятий системы «колесо-рельс». Особый интерес представляет четвертая группа научных исследований – применение лубрикации поверхностей в системе «колесо-рельс». Многочисленные публикации об американском опыте свидетельствуют о высокой эффективности ее применения. Поэтому

целесообразно изучить, обобщить и сопоставить зарубежный и российский опыт применения лубрикации в системе «колесо-рельс».

Анализ эффективности применения лубрикации в системе «колесо-рельс» на Российских железных дорогах

Разработка и опытное применение путевых лубрикаторов на отечественных железных началось с 1950-х годов [24, 107].

Наиболее значительный положительный эффект лубрикации проявляется на кривых участках пути. Согласно исследованиям, такое смазывание обеспечивает снижение износа гребней колес и рельс не менее чем в 2 раза [27, 85].

Разнообразие применяемых технологий и технических средств лубрикации, а также значительная их капиталоемкость требует оценки эффективности использования названных средств, в т.ч. в целях оптимизации их выбора. Требуется проведение анализа результатов использования технических средств лубрикации, износа и ресурса элементов системы «колесо-рельс».

Системы лубрикации на Российских железных дорогах представлены тремя направлениями смазывания контакта «колесо-рельс»:

- передвижными рельсосмазывателями, предназначенными для обработки боковой поверхности рельсов всего обслуживаемого участка пути, а также защиты всех набегающих на рельс колес проходящего подвижного состава;
- стационарными путевыми лубрикаторами для стрелочных переводов и кривых участков пути в пределах станционных путей;
- гребнесмазывателями, служащими в основном для защиты гребней тех колес эксплуатируемого подвижного состава, на которых они установлены.

В настоящее время на железных дорогах РФ применяются традиционные стационарные системы смазывания, передвижные лубрикатеры, а также гребнесмазыватели, устанавливаемые на подвижном составе.

Изучение и анализ отчетов за 2011-2012 г.г. по реализации технологии лубрикации подразделениями и филиалами Компании ОАО «РЖД» показали, что они оснащены следующими техническими средствами [112]:

- мобильными рельсосмазывателями в количестве 304 ед., в том числе:
 - локомотивами-рельсосмазывателями – 262 ед.;
 - вагонами-рельсосмазывателями – 42 ед.;
- локомотивами, оборудованными бортовыми гребнесмазывателями – 9 815 ед., в том числе:

- автоматическими гребнесмазывателями АГС – 6 360 локомотивов;

- стержневыми гребнесмазывателями ГРС – 752 локомотива;

- гребнесмазывателями дорожных разработок – 856 локомотивов.

- стационарными путевыми рельсосмазывателями – 7 013 ед.

Удельная оснащенность мобильными средствами лубрикации в среднем по сети составляет 405 км развернутой длины магистрали на один рельсосмазыватель или 83,9 км кривых участков пути, подлежащих смазыванию. Бортовыми системами гребнесмазывания оборудовано 47,8% инвентарного парка самоходных передвижных единиц.

На один стационарный путевой рельсосмазыватель приходится:

- установленный в кривой - 8,5 км кривых, подлежащих смазыванию;

- установленный в горловинах станций - 13,2 стрелочных перевода.

В исследовании приведена оценка эффективности применения лубрикации, полученная на основе данных внутренних форм статистической отчетности за последние 5 лет (2008-2012 г.):

ТО-3 «Отчет о результатах использования технических средств лубрикации для снижения износа бандажей колесных пар и увеличения ресурса бандажей»;

ТО-31 «Отчет об использовании технических средств лубрикации пары трения «колесо-рельс»;

ПО-3, раздел I «Отчет о наличии и использовании путевых лубрикаторов».

Анализ динамики использования лубрикаторов приведен для:

1. Передвижных рельсосмазывателей с 2009 по 2012 г.г.

Хорошо оснащены передвижными рельсосмазывателями Приволжская, Московская, Октябрьская, Северо-Кавказская и Красноярская ж.д, хуже - Забайкальская, Западно-Сибирская, Свердловская и Горьковская железные дороги, таблица 1.5.

Таблица 1.5 – Комплексные показатели надежности локомотивов-рельсосмазывателей 2011/2012 гг. по данным железных дорог

Дорога	Коэффициент готовности, %			Коэффициент технического использования, %		
	2011 г.	2012 г.	+/- к 2011 г., %	2011 г.	2012 г.	+/- к 2012г., %
Окт	80,8	96,9	16,1	42,3	46,5	4,2
Моск	85,5	90,8	5,3	51,6	50,6	-1,0
Горьк	88,3	74,9	-13,4	55,6	59,5	3,9
Сев	87,7	91,7	4,0	49,8	50,2	0,4
СКав	86,3	91,9	5,6	54,2	52,1	-2,1
ЮВост	95,7	97,4	1,7	62,8	70,5	7,7
Прив	81,9	87,6	5,7	49,9	48,8	-1,1
Кбш	91,7	95,9	4,2	60,4	57,2	-3,2
Свердл	83,2	93,7	10,5	47,4	63,0	15,6
ЮУр	92,5	89,6	-2,9	61,6	58,5	-3,1
ЗСиб	95,3	84,3	-11,0	53,1	62,6	9,5
Красн	86,7	96,1	9,4	38,1	40,2	2,1
ВСиб	78,8	97,5	18,7	44,5	38,4	-6,1
Заб	90,8	97,7	6,9	54,0	62,6	8,6
Двост	84,4	99,3	14,9	51,5	46,8	-4,7
Сеть ж.д.	87,3	92,4	5,0	51,8	53,8	2,0

– ежегодная норма протяженности смазываемых участков не выполнялась на 3-5%, составила не более 35,5 тыс. км при установленном плане 36,2 тыс. км из-за недостаточного количества смазочных материалов (СМ) (РС-6 «в»; РС-6 «в/и»; КР-400 (РП); СРК; ПУМА-МР и др.) (90% от плановых показателей), таблица 1.6 – 1.7.

Таблица 1.6 – Выполнение плана работы локомотивов-рельсосмазывателей за 6 месяцев 2012 г.

Дорога	Выполнение нормы работы локомотивов-рельсосмазывателей, км		
	план	факт	%
Окт	2081,3	2340,9	112,5
Моск	2256,4	2256,4	100,0
Горьк	1966,6	1961,3	99,7
Сев	859,0	730,1	85,0
СКав	1264,3	1264,3	100,0
ЮВост	1789,4	1785,2	99,8
Прив	1113,0	1113,0	100,0
Кбш	6410,4	6352,0	99,1
Свердл	2421,9	2334,3	96,4
ЮУр	2045,0	1992,4	97,4
ЗСиб	882,4	882,4	100,0
Красн	1935,0	1935,0	100,0
ВСиб	2315,0	2275,5	98,3
Заб	5040,6	4359,4	86,5
Двост	3844,6	3844,6	100,0
Сеть ж.д.	36224,9	35426,8	97,8

Таблица 1.7 – Расход смазочных материалов передвижными рельсосмазывателями за 6 месяцев 2012 г.

Дорога	Передвижные рельсосмазыватели (ЛРС), т			Передвижные рельсосмазыватели (ВРС), т			Стационарные путевые рельсосмазыватели, т			Бортовые гребнесмазыватели АГС, т			Бортовые гребнесмазыватели ГРС тыс. шт.		
	Норма	Факт	%	Норма	Факт	%	Норма	Факт	%	Норма	Факт	%	Норма	Факт	%
Окт	109,5	105,8	96,7				8,6	8,1	94,4	8,89	8,11	91,2	188	173	92,0
- Моск	107,6	74,5	69,3				17,4	17,4	100,2	24,56	13,13	53,4			
Горьк	65,9	64,0	97,1		22,7		12,7	12,5	98,8	10,61	3,69	34,8	49000	30287	61,8
Сев	24,3	23,0	94,9		12,4		7,1	4,9	68,8	15,15	15,13	99,9			
СКАв	11,4	13,2	115,1				6,9	5,6	81,7	7,30	8,08	110,6	322000	251180	78,0
ЮВост	90,1	89,0	98,7				11,2	11,0	98,5	14,43	14,42	99,9	772	736	95,3
Прив	46,4	42,0	90,5				7,9	7,7	96,8	11,23	10,23	91,1			
Кбш	113,5	99,5	87,7		34,2		7,4	5,2	69,7	41,22	18,47	44,8	16445	4650	28,3
Свердл	126,0	117,2	93,0		5,0		26,7	21,2	79,3	14,92	14,11	94,6			
ЮУр	120,7	114,9	95,2		27,1		14,9	14,0	93,8	15,62	11,79	75,5			
ЗСиб	75,2	74,2	98,7				7,7	7,8	100,2	32,01	43,11	134,7			
Красн	77,9	68,6	88,0		3,1		6,3	4,4	69,7	10,74	11,01	102,6			
ВСиб	35,7	30,9	86,4		37,3		10,8	10,5	97,1	18,77	17,26	92,0	58503	26868	45,9
Заб	118,7	102,8	86,6		130,2		5,9	4,7	80,6	3,05	3,07	100,6			
Двост	93,0	75,5	81,2		74,2		6,2	4,8	77,3	45,06	35,85	79,6			
Сеть ж.д.	1215,9	1095,1	90,1		346,0		157,5	139,6	88,6	273,55	227,46	83,2	446908	313894	70,2

2. Бортовых гребнесмазывателей

В рассматриваемый период (2008-2012 г.г.) использование бортовых гребнесмазывателей АГС-8 было недостаточно эффективно из-за низкого уровня организационно-технического состояния реализации трибологического мероприятия (по отчетным данным 2012 года). Это обусловлено:

- постановкой локомотивов с исправными бортовыми гребнесмазывателями в запас ОАО «РЖД» и резерв управления дороги. Так на Октябрьской ж.д. в запас ОАО «РЖД» и резерв управления дороги было отставлено 16 грузовых и 4 пассажирских электровоза.
- отсутствием должного внимания вопросу содержания в исправном состоянии систем гребнесмазывания локомотивов:

Наименование дороги	Количество АГС-8		
	всего	исправных	% исправных
Горьковская	407	305	74,9
Западно- Сибирская	823	694	84,3
Южно- Уральская	794	712	89,7
Приволжская	370	324	87,6

- неудовлетворительным обеспечением запасными частями, низким качеством технического обслуживания и текущего ремонта (особенно при проведении технического обслуживания и ремонта локомотивов на пунктах технического обслуживания локомотивов приписки других дорог);
- низкой надежностью блока управления, соединительных и установочных элементов, датчика пути автоматических гребнесмазывателей АГС-8. Так на Московской ж.д. в неисправном состоянии находилось 156 гребнесмазывателей; на Приволжской ж.д. – 21 гребнесмазыватель;
- разукomплектованием систем автоматического гребнесмазывания.

Анализ первого полугодия 2012 года показал, что оснащенность мобильными средствами лубрикации в целом по сети высокая. Так на один передвижной рельсосмазыватель приходилось 83,9 км кривых участков пути, подлежащих смазыванию. В тоже время наблюдались значительные различия по дорогам в степени оснащенности техническими средствами лубрикации (ТСЛ), эксплуатационными показателям их использования и затратами на содержание. Так, например, бортовыми системами гребнесмазывания было оборудовано всего 47,8% инвентарного парка самоходных передвижных единиц, что явно не достаточно для эффективной защиты гребней колес активно работающего тягового подвижного состава.

Основной задачей эффективного применения ТСЛ является оптимизация их распределения в соответствии с дорожными технологическими картами рельсо- и гребнесмазывания. Необходимо приведение ТСЛ к единым нормативным количественным и качественным показателям их работы с учетом характеристик обслуживаемых участков рельсосмазывания (грузонапряженность, кривизна, соотношение грузового и пассажирского движения и пр.). То есть, первоочередной задачей является разработка краткосрочной и среднесрочной программы оснащения ТСЛ сети дорог ОАО «РЖД».

Анализ показывает, что необходимо принять меры по изменению организации системы учета показателей эффективности работы бортовых гребнесмазывателей и мобильных рельсосмазывателей и повышению их достоверности. В настоящее время отсутствует отлаженная системы учета технического состояния бортовых гребнесмазывателей, расхода смазочных материалов при выполнении технологической работы по смазыванию гребней колес и рельсов. В результате в 2012 году наблюдались существенные отклонения от нормативных значений расхода смазочных материалов.

При этом высоки расходы на содержание и эксплуатацию технических средств лубрикации (ТСЛ) (за 2012 г.- свыше 4 млрд. руб.).

Однако перечисленное (техническая оснащенность участков дорог) не охватывает всех факторов, влияющих на эффективность лубрикации. В работах

многих авторов [42, 76-77] отмечалась значительная роль эксплуатационных и географических факторов в эффективности лубрикации. Кроме того, не выявлены оптимальные или рациональные условия эксплуатации, при которых обеспечивается наибольшая эффективность лубрикации.

Достижение основной цели диссертационного исследования – выявление условий эффективного применения лубрикации обеспечивает решение основной задачи сокращения потерь в системе «колесо-рельс».

Для снижения экономических издержек при использовании ТСЛ целесообразно:

- сформулировать технико-экономические принципы оптимального территориального распределения ТСЛ и формирования технологических карт смазывания по сети дорог ОАО «РЖД» с учетом специфики перевозочного процесса на основе разработки «лубрикационных» паспортов железных дорог, технико-экономических паспортов ТСЛ и экономических паспортов смазочных материалов, применяемых для лубрикации контакта «колесо-рельс».

- провести оптимизацию распределения технических средств лубрикации (устранение перекрестной лубрикации и замена затратных ТСЛ более экономичными при безусловном соблюдении технологических нормативов гребне- и рельсосмазывания).

В отчетах ОАО «РЖД» приведены расчеты оценки результативности лубрикации в системе «колесо-рельс» с использованием следующих показателей:

- средний ресурс до смены бандажей колесных пар;
- суммарное количество обточек бандажей колесных пар магистральных локомотивов;
- интенсивность износа гребней бандажей колесных пар локомотивов;
- расход топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

Ресурс бандажей колесных пар локомотивов определен Стратегическими направлениями инновационного развития компании на период до 2015 г. в размере не менее 600 тыс. км [148], рисунок 1.4.

Анализ отчетных данных за первые полугодия 2011-2012 годов показал, что средний ресурс до смены бандажей колесных пар составил:

- по грузовым электровозам – 551,2 тыс. км (увеличился на 1,4%). Наибольший прирост отмечен на Красноярской ж.д. (15,5%), Дальневосточной ж.д. (13,3%), Западно-Сибирской ж.д. (6,1%). На Московской железной дороге ресурс бандажей грузовых электровозов снизился на 9,6%;

- по пассажирским электровозам – 784,16 тыс. км (увеличился на 4,3%). Наибольший прирост отмечен на Октябрьской ж.д. (44,4%), Западно-Сибирской ж.д. (13,2%), Приволжской ж.д. (4,2%). Снижение ресурса отмечено на Московской ж.д. (16,0 %), рисунок 1.4.

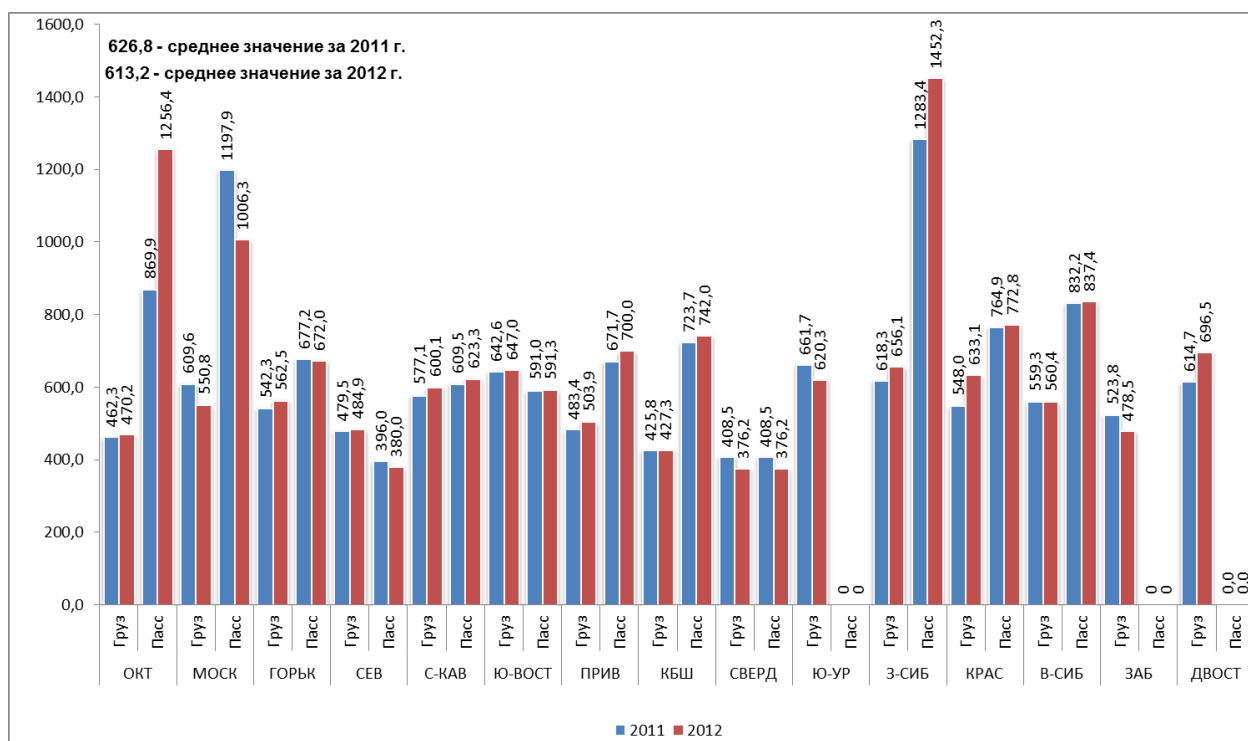


Рисунок 1.4. – Ресурс до смены бандажей колесных пар грузовых и пассажирских электровозов, тыс. км

Установленный на период до 2015 г. ресурс бандажей колесных пар грузовых электровозов в размере не менее 600 тыс. км выполняется только на шести дорогах: Дальневосточной (696,5 тыс. км), Западно-Сибирской (656,1

тыс. км), Юго-Восточной (647 тыс. км), Красноярской (633,1 тыс. км) Южно-Уральской (620,3 тыс. км) и Северо-Кавказской ж.д. (600,1 тыс. км).

Динамика изменения *суммарного количества обточек бандажей колесных пар магистральных локомотивов* в целом по сети железных дорог положительная и снизилась в целом на 5,8% (до 71 059 ед.) по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, в т.ч.:

- для электровозов уменьшилась на 5,15%, (до 50 714 ед.). Это подтверждается увеличением ресурса наработки бандажей;

- по причине износа и остроконечного наката гребня уменьшилось на 1,8% (с 46,8 до 45,9 тыс. шт.), таблица 1.8;

- по причине разности диаметров уменьшилось на 54% (с 1 321 до 592 ед.), таблица 1.9.

Наихудшая ситуация наблюдалась:

- по электровозам (в общем) - только на Октябрьской железной дороге (увеличение на 9 ед.);

- по причине образования ползунов остается на достаточно высоком уровне – 2228 ед., хотя и на 21,2% ниже уровня прошлого года (-473 шт.). Наихудшая ситуация наблюдалась:

- по электровозам - на Дальневосточной ж.д. (134 обточки), Восточно-Сибирской ж.д. (96 обточек) и Красноярской ж.д. (по 78 шт.);

Как видно на рисунке 1.5, *среднее сетевое значение интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов* по принятому плану ОАО «РЖД» за 2011-2012 г.г. снизилось с 0,29 до 0,28 мм на 10 тыс. лок-км в целом по сети:

- электровозов – уменьшилась на 3,6% (с 0,28 мм/10 тыс. км пробега до 0,27): наибольшее снижение достигнуто, рисунок 1.5.

- по грузовым – на Забайкальской ж.д. (-14,13%, до 0,23);

худшие результаты:

- по грузовым – на Московской ж.д. (+14,7%, до 0,35);

Таблица 1.8 – Распределение количества обточек бандажей колесных пар магистральных локомотивов за 6 месяцев 2011/2012 гг., шт.

Дорога	Всего			в том числе по износу и остроконечному накату гребней		
	2011 г.	2012 г.	+/- к 2011 г, %	2011 г.	2012 г.	+/- к 2012 г., %
Окт	4671	5167	+10,6	2721	3416	25,5
Моск	4509	4692	+4,1	2597	3162	21,8
Горьк	5647	5854	+3,7	3302	3816	15,6
Сев	4445	3916	-11,9	2916	2424	-16,9
СКав	2641	2503	-5,2	1893	1776	-6,2
ЮВост	2092	2277	+8,8	1518	1698	11,9
Прив	3679	3681	+0,1	2957	2912	-1,5
Кбш	6185	6013	-2,8	4863	4763	-2,1
Свердл	5635	5399	-4,2	3449	3514	1,9
ЮУр	3898	3432	-12,0	2640	2429	-8,0
ЗСиб	5318	4401	-17,2	3023	2736	-9,5
Красн	6430	6809	+5,9	3673	4621	25,8
ВСиб	9555	8777	-8,1	5101	4284	-16,0
Заб	5075	3449	-32,0	2803	1359	-51,5
Двост	6059	5205	-14,1	3338	3060	-8,3
Сеть ж.д.	75464	71059	-5,8	46794	45970	-1,8

Таблица 1.9 – Распределение причин обточек бандажей колесных пар электровозов за 6 месяцев 2011/2012 гг.

Дорога	По износу и остроконечному накату		По прокату		По ползунам		По разнице диаметров		Прочие		Всего	
	2011 г.	2012 г.	2011 г.	2012 г.	2011 г.	2012 г.	2011 г.	2012 г.	2011 г.	2012 г.	2011 г.	2012 г.
Окт	1528	2052	89	82	30	53	1	10	290	98	2408	2726
Моск	1396	1856	109	37	51	46	50	16	616	516	2491	2720
Горьк	2639	3086	93	76	26	7	163	61	875	611	4035	4201
Сев	2272	1919	53	34	37	16	19	0	19	47	2590	2306
СКАв	1282	1174	67	34	43	31	3	2	364	371	1817	1655
ЮВост	1155	1206	0	22	28	12	2	0	319	334	1552	1634
Прив	1850	1716	138	88	24	18	0	1	226	263	2244	2105
Кбш	4180	4011	81	85	45	36	58	12	477	539	4869	4713
Свердл	3114	3252	75	143	87	50	11	0	664	494	3974	3965
ЮУр	2292	2153	343	293	53	45	79	0	221	220	3123	2805
ЗСиБ	2913	2647	452	346	159	76	67	5	474	526	4607	3973
Красн	3518	4507	1394	868	111	78	0	7	719	733	5915	6273
ВСиБ	4247	3713	1177	1204	108	96	24	0	1595	1754	7854	7351
Заб	2450	1253	11	3	74	46	0	0	937	1212	3987	2798
Двост	1418	1277	70	193	187	134	301	100	370	251	2481	2076
Сеть ж.д.	36254	35822	4152	3508	1063	744	778	214	8166	7969	53472	50714

с 1 283 до 591– 1 755 ед., хотя и на 21,2% ниже уровня прошлого года (-473 шт.).

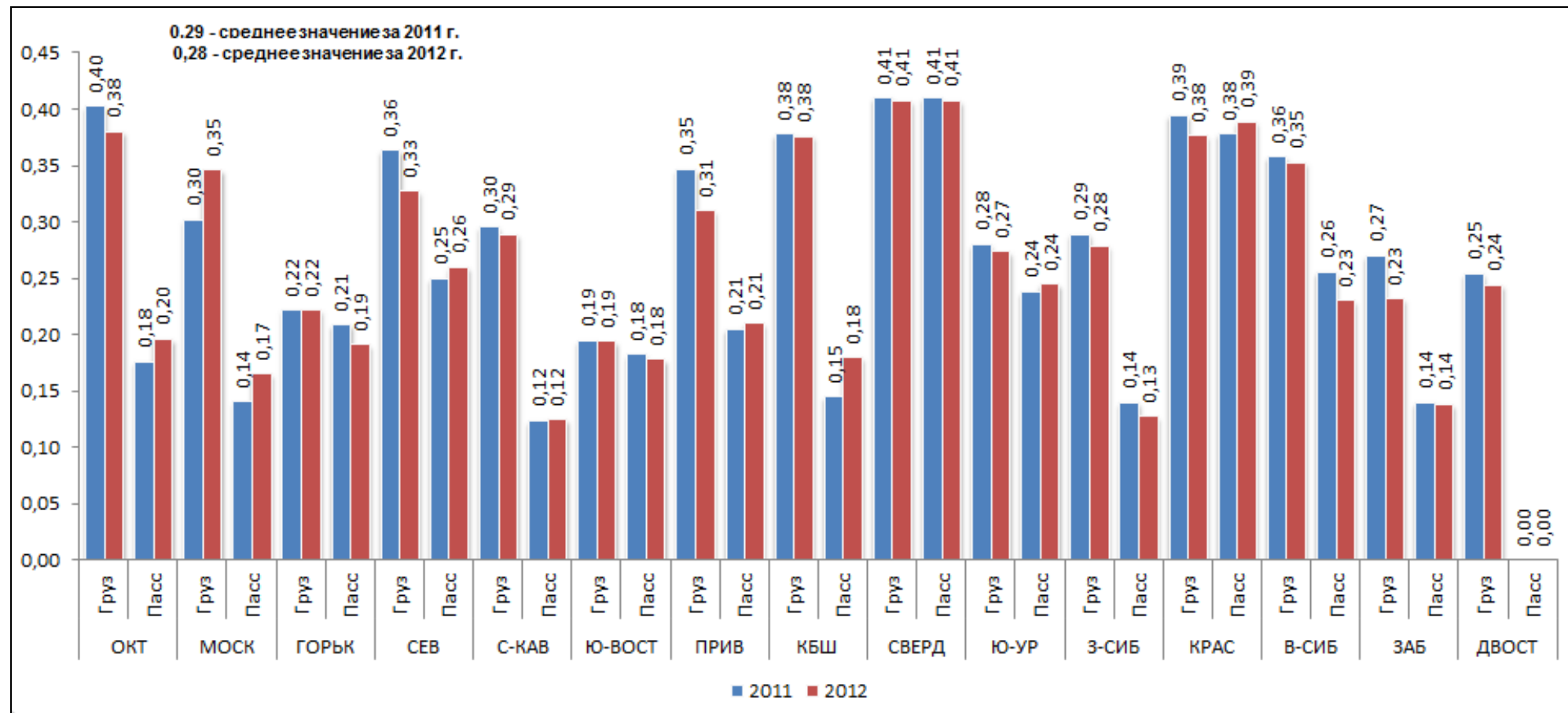


Рисунок 1.5 – Интенсивность износа гребней бандажей колесных пар грузовых и пассажирских электровозов,
мм/10 тыс. км

Анализ влияния лубрикации на *расход топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов* показал отсутствие в действующих методологических материалах по оценке эффективности триботехнических мероприятий количественной оценки влияния лубрикации на снижение расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на тягу поездов. Методика для определения энергоэффективности лубрикации в настоящее время только апробируется. Поэтому соответствующие оценки в данной области вынужденно будут иметь экспертный характер.

Удельный расход электроэнергии на тягу поездов составил 117,5 кВт ч/10 тыс. т км брутто, что ниже планового уровня на 0,8% и ниже уровня аналогичного периода прошлого года на 1%, таблица 1.10.

Таблица 1.10 – Расход электроэнергии на тягу поездов за 6 месяцев 2012 г.

Дорога	Расход электроэнергии, млн. кВт*ч			Удельный расход электроэнергии, кВт*ч/10 тыс. т км брутто		
	право	отчет	% к праву	план	факт	% к плану
Окт	1173,2	1175,3	0,2	120,4	120,6	0,2
Моск	1835,7	1821,6	-0,8	153,3	152,1	-0,8
Горьк	1628,3	1617,4	-0,7	104,2	103,5	-0,7
Сев	961,2	949,1	-1,3	93,9	92,7	-1,3
СКав	868,9	864,3	-0,5	135,7	135,0	-0,5
Ювост	966,2	955,6	-1,1	124,8	123,4	-1,1
Прив	512,3	511,9	-0,1	136,0	135,9	-0,1
Кбш	1360,6	1365,0	0,3	113,5	113,9	0,4
Свердл	1600,7	1582,2	-1,2	110,8	109,5	-1,2
ЮУр	1288,9	1278,7	-0,8	95,1	94,3	-0,8
Зсиб	2085,3	2036,0	-2,4	96,9	94,6	-2,4
Красн	1023,6	1000,1	-2,3	129,0	126,0	-2,3
Всиб	1792,3	1768,8	-1,3	130,9	129,2	-1,3
Заб	2141,9	2151,5	0,4	118,0	118,5	0,4
Двост	1236,7	1222,6	-1,1	114,7	113,4	-1,1
Сеть ж.д.	20475,8	20300,1	-0,9	118,5	117,5	-0,8

Выводы по главе 1

1. Техничко-экономический анализ стратегических направлений развития железнодорожного транспорта позволил выявить необходимость совершенствования и развития экономических оценок, принимаемых на транспорте технико-организационных решений по триботехническим мероприятиям.

2. Анализ работ ведущих специалистов в области тяги поездов и оценки характера и затратности физико-химических процессов в системе «колесо-рельс», которые определяют уровень сцепления показал, что доля потерь энергии в контакте колесо-рельс в общих энергозатратах на тягу поездов составляет от 4 до 16%, в зависимости от реализуемого коэффициента трения пары «колесо-рельс».

3. Энергетические потери в узле «колесо-рельс» существенно меняются в зависимости от условий эксплуатации, включая климатические. В свою очередь, объем перевозочной работы, вес поезда и скорость движения поездов определяют важную группу потребительных свойств транспортной продукции – объем перевозочной работы и время ее выполнения. Их интегрированная оценка может быть представлена в виде оценки кинетической энергии, определяющей потребительные свойства продукции. Доля этой энергии в общем энергопотреблении – коэффициент использования энергоресурсов позволяет связать рыночные характеристики в работе железнодорожного транспорта с требованиями к условиям эксплуатации, ресурсопотреблению и триботехническим характеристикам системы «колесо-рельс».

4. Выявлена необходимость развития методических подходов к оценке экономической эффективности мероприятий по снижению потерь на трение и оценке экономически целесообразных условий применения тех или иных мероприятий, влияющих на процессы трения в системе «колесо-рельс».

5. Для совершенствования управления взаимодействием системы «колесо-рельс» на ведущих железных дорогах США, Европы, Японии и Китая и РФ проводились исследования взаимодействия колеса и рельса в работе. Исследовались

технологические изменения при обработке поверхности катания, применении шлифования и рельсосмазывания. Результаты исследований показали, что для обеспечения экономически эффективной работы системы «колесо-рельс» необходимо рассматривать взаимодействие колеса и рельса, экипажа и пути с позиций системного анализа.

2. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛУБРИКАЦИИ В СИСТЕМЕ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»

2.1. Анализ факторов, влияющих на экономическую эффективность мероприятий по снижению потерь в системе «колесо-рельс»

Изучение, анализ и обобщение методических рекомендаций, инструкций и работ ученых в области экономики железнодорожного транспорта [12, 13, 44, 53, 58, 95, 97, 160], показали, что при определении экономической эффективности научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте предлагаются методы с использованием детерминированных моделей.

Преимущество детерминированных моделей в простоте их применения. Основной недостаток - низкая адекватность реальной действительности, так как большинство экономических процессов носит вероятностный характер. На производственный процесс оказывают влияние большое количество факторов, учесть которые детерминированным образом невозможно.

На производственный процесс воздействуют случайные сигналы. В силу этого планирование работы предприятия может быть только вероятностным.

Достоинством вероятностных моделей является то, что они больше соответствуют реальной действительности (более адекватны), чем детерминированные.

В научной экономической литературе [92, 114., 147, 161] для определения экономической эффективности процессов управления ресурсосбережением на железнодорожном транспорте предложено использовать стохастические модели. Процессы, протекающие в изучаемой системе «колесо-рельс», имеют ярко выраженный вероятностный характер, поэтому стохастические модели более предпочтительны в условиях неопределенности экономической среды.

Одной из основных тенденций в развитии современного железнодорожного транспорта является повышение скоростей движения поездов и нагрузки на ось, что значительно увеличивает контактные напряжения в системе «колесо-рельс». В связи с этим обостряется проблема надежности и эффективности использования локомотивов [1].

При исследовании сложных технических систем моделирование на основе анализа ретроспективных данных является эффективным подходом к их изучению.

В процессе исследования необходимо установить реально существующие закономерности. Но их определение, как известно, затруднено погрешностями измерения, ошибками регистрации, случайными возмущениями, несовершенностью методики. Важнейшей задачей исследователя является определение закономерностей существующих связей между физическими явлениями, условиями эксплуатации и экономическими показателями [51, 136].

В этом случае целесообразно использовать корреляционный анализ. Он позволяет прийти к тем же выводам, которые могли бы быть получены в результате постановки объемных и трудоемких экспериментов.

Важной составляющей исследования является формирование информационной базы.

Как показал многолетний опыт использования на железных дорогах смазочных материалов в системе «колесо-рельс», излишняя лубрикация создает условия для возникновения контактно-усталостных повреждений, так как тормозит естественный съём металла и уменьшение микротрещин, которые служат причиной образования и накопления дефектов усталостного локального разрушения поверхности трения колесных пар локомотивов [67, 84, 158]

Подробное воспроизведение технологии в компьютерной модели и проведение экспериментов дают наименьшие погрешности моделирования и прогноза транспорта [92, 102, 114].

Целью факторного анализа является отбор общих факторов, которые наиболее полно отражают исследуемые явления.

Математическое моделирование получило широкое применение в научных исследованиях. Под моделированием подразумевают воспроизведение или имитацию поведения какой-либо реально существующей системы на специально построенном ее аналоге или модели [34, 35]. Экономико-математическая модель, в отличие от любой физической модели, представляет собой концентрированное выражение в математической форме наиболее существенных взаимосвязей и закономерностей процесса функционирования экономической системы. Алгоритм расчета экономико-математической модели дан в приложении 1 [45].

Изучение и анализ статистических данных эксплуатационной и экономической эффективности различных технологических схем лубрикации, используемых на Московской железной дороге, показал, что их реализация не дает должного эффекта, так как при их разработке и внедрении не был учтен ряд существенных факторов.

Основные требования, предъявленные к отбору факторов, включенных в модель соответствовали следующим условиям [49]:

1. При отборе факторов, в первую очередь, учитывались причинно-следственные связи между показателями, так как только они раскрывают сущность изучаемых явлений. Анализ факторов, которые находятся только в математических соотношениях с результативным показателем, не имеет практического смысла.

2. При создании многофакторной корреляционной модели отбирались самые значимые факторы. Они оказывают решающее воздействие на результативный показатель. Факторы, которым соответствовал критерий надежности по Стьюденту меньше табличного, не принимались во внимание.

3. Все факторы были количественно измеримы и информация о них содержалась в учете и отчетности.

4. Использовалась корреляционная модель линейного вида.

5. Выбирался один из факторов, если парный коэффициент корреляции между ними был больше 0,85. В противном случае это приведет к искажению результатов анализа.

6. Нежелательно включать в корреляционную модель факторы, связь которых с результативным показателем носит функциональный характер, т.е. коэффициент корреляции стремится к единице. Однако это требование не выполнялось.

На основе обобщения результатов исследований большого количества научных работ, направленных на выявление природы сцепления колес с рельсами, выделены свыше пяти десятков факторов, которые влияют на интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар. Одни из них играют большую, другие - меньшую роль. Чтобы оценить степень влияния различных факторов на сцепление колес с рельсами, которые учитываются в ряде наиболее известных исследований [79], проведено ранжирование 20 факторов, указанных в 35 научных работах. Таким образом, выполнена идентификация этих факторов.

В итоге рассматриваемые факторы по их значимости можно разбить на три группы: 1 - главные; 2 - существенные; 3 – несущественные.

В число главных факторов включены:

- физико-химические и фрикционные свойства поверхностных слоев и загрязнений;
- влажность приповерхностных слоев воздуха, климатические и метеорологические условия.

Выполненный методом ранговой корреляции анализ точек зрения исследователей на значимость факторов позволил сформировать направления дальнейших исследований процессов сцепления колес с рельсами с целью поиска эффективных методов стабилизации сцепления и повышения тяговых и тормозных свойств локомотивов.

Построение математических моделей оценки экономической эффективности трибологических мероприятий реализуем с использованием корреляционно-регрессионного анализа отобранных в модели факторов и результирующих показателей экономической эффективности.

Модели корреляционно-регрессионного и дисперсного анализа используются преимущественно при установлении различного рода норм и нормативов используемых экономических ресурсов в производстве.

Проведенный многофакторный корреляционный анализ включил следующие этапы.

На первом этапе определяются факторы, которые оказывают воздействие на изучаемый показатель, и отбираются наиболее существенные для корреляционного анализа.

На втором этапе собирается и оценивается исходная информация, необходимая для корреляционного анализа.

Одно из условий корреляционного анализа - однородность исследуемой информации относительно распределения ее около среднего уровня. Если в совокупности имеются группы объектов, которые значительно отличаются от среднего уровня, то это говорит о неоднородности исходной информации.

Критерием однородности информации служит среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации, которые рассчитываются по каждому факторному и результативному показателю.

Среднеквадратическое отклонение показывает абсолютное отклонение индивидуальных значений от среднеарифметической. Оно определяется по формуле [30] :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (2.1)$$

Коэффициент вариации характеризует относительную меру отклонения отдельных значений от среднеарифметической. Он рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (2.2)$$

Чем больше коэффициент вариации, тем относительно больший разброс и меньшая выравненность изучаемых объектов. Изменчивость вариационного ряда

принято считать незначительной, если вариация не превышает 10%, средней - если составляет 10-20 %, значительной - если она больше 20%, но не превышает 33%. Если же вариация выше 33%, то это говорит о неоднородности информации и необходимости исключения нетипичных наблюдений, которые обычно бывают в первых и последних ранжированных рядах выборки.

Показатель асимметрии (A) и его ошибка (m_a) рассчитываются по следующим формулам:

$$A = \frac{\sum (x - \bar{x})^3}{n\sigma^3}; m_a = \sqrt{\frac{6}{n}} \quad (2.3)$$

Показатель эксцесса (E) и его ошибка (m_e) рассчитываются следующим образом:

$$E = \frac{\sum (x - \bar{x})^4}{n\sigma^4}; m_e = \sqrt{\frac{24}{n}} \text{ или } m_e = 2m_a \quad (2.4)$$

В симметричном распределении $A = 0$. Отличие от нуля указывает на наличие асимметрии в распределении данных около средней величины. Отрицательная асимметрия свидетельствует о том, что преобладают данные с большими значениями, а с меньшими значениями встречаются значительно реже. Положительная асимметрия показывает, что чаще встречаются данные с небольшими значениями.

В нормальном распределении показатель эксцесса $E = 0$. Если $E > 0$, то данные густо сгруппированы около средней, образуя островершинность. Если $E < 0$, то кривая распределения будет плосковершинной. Однако, когда отношения A/m_a и E/m_e меньше 3, то асимметрия и эксцесс не имеют существенного значения и исследуемая информация подчиняется закону нормального распределения.

В нашем примере во всех случаях отношения A/m_a и E/m_e не превышают 3. Значит, исходная информация соответствует этому закону.

На третьем этапе изучается характер и моделируется связь между факторами и результативным показателем, то есть подбирается и обосновывается вид математической модели, которая наиболее точно выражает сущность

исследуемой зависимости. Для того, чтобы устранить смещение оценок от взаимозависящих факторов и получить количественную характеристику связи между результативным и факторными показателями в чистом виде, рассчитываются частные коэффициенты корреляции.

При сравнении частных коэффициентов корреляции с парными видно, что влияние других факторов на тесноту связи между результирующими показателями и исследуемыми факторами довольно значимое: частные коэффициенты корреляции намного ниже парных.

Таким образом, с помощью парных и частных коэффициентов корреляции получено представление о тесноте связи между изучаемыми явлениями.

Если коэффициент корреляции двух факторов выше 0,85, то один из факторов исключался из модели. Исследование матрицы коэффициентов корреляции позволило сделать вывод, что в данную модель включены факторы, не существенно связанные между собой.

На четвертом этапе проведен расчет основных показателей связи корреляционного анализа - расчет уравнения связи (регрессии). В ходе решения в расчет принимался сначала один фактор, который оказывает наиболее значимое влияние на результативный показатель, потом второй, третий и т.д. И на каждом шаге рассчитывались уравнения связи, множественный коэффициент корреляции и детерминации, F -отношение (критерий Фишера), стандартная ошибка и другие показатели, с помощью которых оценивается надежность уравнения связи. Величина этих критериев на каждом шаге сравнивалась с предыдущей. Чем выше величина коэффициентов множественной корреляции, детерминации и критерия Фишера и чем ниже величина стандартной ошибки, тем точнее уравнение связи описывает зависимости, сложившиеся между исследуемыми показателями. При построении модели оценка целесообразности ввода фактора определялась следующим образом: если добавление следующих факторов не улучшает оценочных показателей связи, то надо их отбросить, т.е. остановиться на том уравнении, где эти показатели наиболее оптимальны.

Для того чтобы убедиться в надёжности уравнения связи и правомерности его использования для практической цели была дана статистическая оценка надёжности показателей связи. Для этого использован критерий Фишера (F -отношение), средняя ошибка аппроксимации ($\bar{\varepsilon}$), коэффициенты множественной корреляции (R) и детерминации (D). Критерий Фишера рассчитывается следующим образом:

$$F = \frac{\sigma^2_{воспр}}{\sigma^2_{ост}} \quad (2.5)$$

$$\sigma^2_{воспр} = \frac{\sum (Y_{x_i} - \bar{Y}_x)^2}{m-1}; \sigma^2_{ост} = \frac{\sum (Y_i - Y_{x_i})^2}{n-m} \quad (2.6)$$

где Y_{x_i} - индивидуальные значения результативного показателя, рассчитанные по уравнению;

$\bar{Y}_{x_i}$ - среднее значение результативного показателя, рассчитанное по уравнению;

Y_i - фактические индивидуальные значения результативного показателя;

m - количество параметров в уравнении связи, учитывая свободный член уравнения;

n - количество наблюдений (объем выборки).

Если $F_{факт} > F_{табл}$, то гипотеза о наличии связи между исследуемыми факторами подтверждается.

Для статистической оценки точности уравнения связи использована средняя ошибка аппроксимации:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_{x_i} - \bar{Y}}{Y_i} \right)^2 \quad (2.7)$$

Чем меньше теоретическая линия регрессии (рассчитанная по уравнению) отклоняется от фактической (эмпиричной), тем меньше средняя ошибка аппроксимации. Учитывая, что в экономических расчетах допускается

погрешность 5-8 %, сделан вывод, что исследуемое уравнение связи довольно точно описывает изучаемые зависимости.

На пятом этапе дана статистическая оценка результатов корреляционного анализа и проведена их практическая интерпретация.

Эффективность моделирования связана со способностью достигать цели исследования, для которого построена модель. Из двух альтернативных моделей более предпочтительной является та, результаты использования которой по прямому назначению лучше. В частности, качество объясняющих моделей тем выше, чем правильней они описывают закономерности связей факторов и показателей. Качество предсказывающих моделей прямо пропорционально точности предсказанных значений функций, процессов.

Выбор варианта модели производится в результате оценивания и сопоставления возможных альтернатив. Достаточно полного, отвечающего требованиям исследования по оцениванию эффективности моделирования не существует. Существуют требования, выполнение которых повышает адекватность модели реальному процессу:

1. чтобы получить количественное описание системы, нужно найти адекватное математическое описание лишь ее существенных особенностей, т.е. составить адекватную математическую модель системы;

2. нужно всегда проявлять осторожность при сопоставлении результатов расчетов с физическим явлением, ибо математическая модель никогда не бывает тождественна наблюдаемому явлению. В этой связи трудно переоценить роль экспертного оценивания.

Этап проверки соответствия модели своему назначению включает математическую модель, алгоритм, программу. Качество модели сопряжено с анализом качества каждой из перечисленных составляющих.

Совпадение результатов для прошлого никоим образом не гарантирует правильности предсказания (расчетов) в будущем. Однако ретроспективный анализ полезен для подтверждения того факта, что в модели в целом правильно учтены закономерности описываемых ею процессов.

При проведении ретроспективного анализа для оценки степени соответствия результатов расчета и ретроспективных данных используются специальные статистические процедуры.

В соответствии с анализом причинно-следственных связей между процессами в системе «колесо-рельс» была построена математическая модель оценки экономической эффективности трибологических мероприятий в локомотивном хозяйстве, включающая учет климатических, эксплуатационных показателей и их изменения. Алгоритм расчета показателей интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотива, удельного расхода электроэнергии на тягу поездов, количество обточек бандажей колесных пар показан на рисунке 2.1. В качестве показателей результативности системы введены: количество обточек бандажей колесных пар, удельный расход энергии на тягу поездов и удельный расход смазочных материалов.

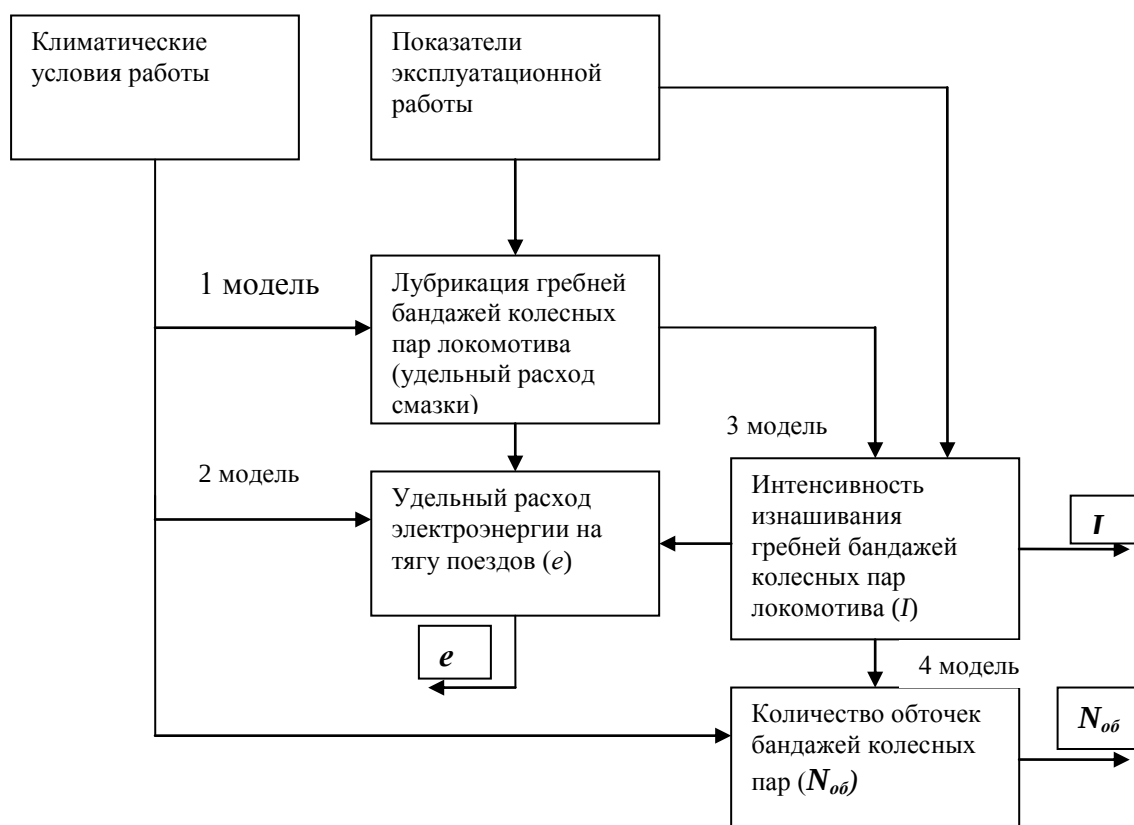


Рисунок 2.1. – Алгоритм расчета показателей интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотива, удельного расхода электроэнергии на тягу поездов, количество обточек бандажей колесных пар

В исследовании в качестве изучаемых объектов были рассмотрены локомотивные депо Бекасово ТЧ-23 Брянское направление, Рыбное ТЧ-38 Рязанское направление и ТЧ-5 Горьковское направление. В качестве трибологического мероприятия исследовалась лубрикация поверхностей гребней бандажей колесных пар локомотивов ВЛ-10.

Во всех случаях лубрикация проводилась с использованием рельсосмазывателей типа ВНИКТИ и смазочного материала РС-6 «Ву» («В») (концентрат). Анализировались данные статистической отчетности формы «Отчет о показателях использования технологий снижения износа колесных пар локомотивов» (ТО-3 срочная месячная), сведения корпоративной базы данных экономических информационных систем ОАО «РЖД» за 2000-2004 годы.

Для выявления форм зависимостей лубрикации на выбранные показатели эффективности функционирования системы «колесо-рельс» целесообразно построить однофакторные модели, позволяющие определить наличие и форму зависимости.

В результате проведенной работы были построены три однофакторные модели, обеспечивающие достоверную информацию о результатах применении лубрикации. Модели позволяют аналитику сделать прогнозы изменения показателей эффективности функционирования системы «колесо-рельс» в зависимости от размеров лубрикации гребней бандажей колесных пар [44].

Как видно, оба результирующие показатели (удельный расход электроэнергии на тягу поездов, интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов) имеют минимальные значения в зависимости от величины удельного расхода смазочного материала. Таким образом, можно говорить о поиске оптимальных значений удельного расхода смазочного материала по каждому отдельному локомотивному депо, при котором достигаются $\min$ экстремумы износа и энергопотребления.

Результаты обработки статистических данных приведены на рис. 2.2 и 2.3.

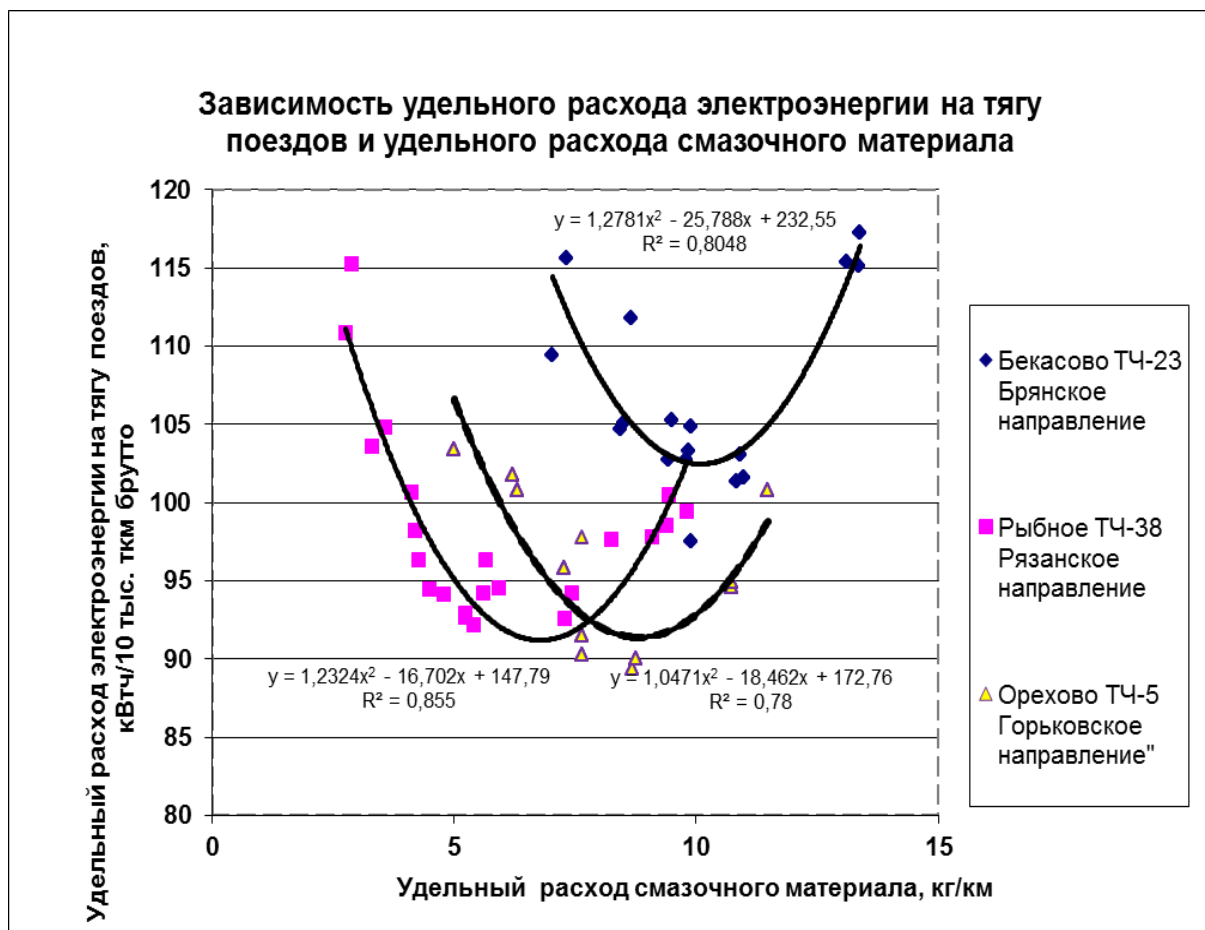


Рисунок 2.2 - Результаты обработки статистических данных

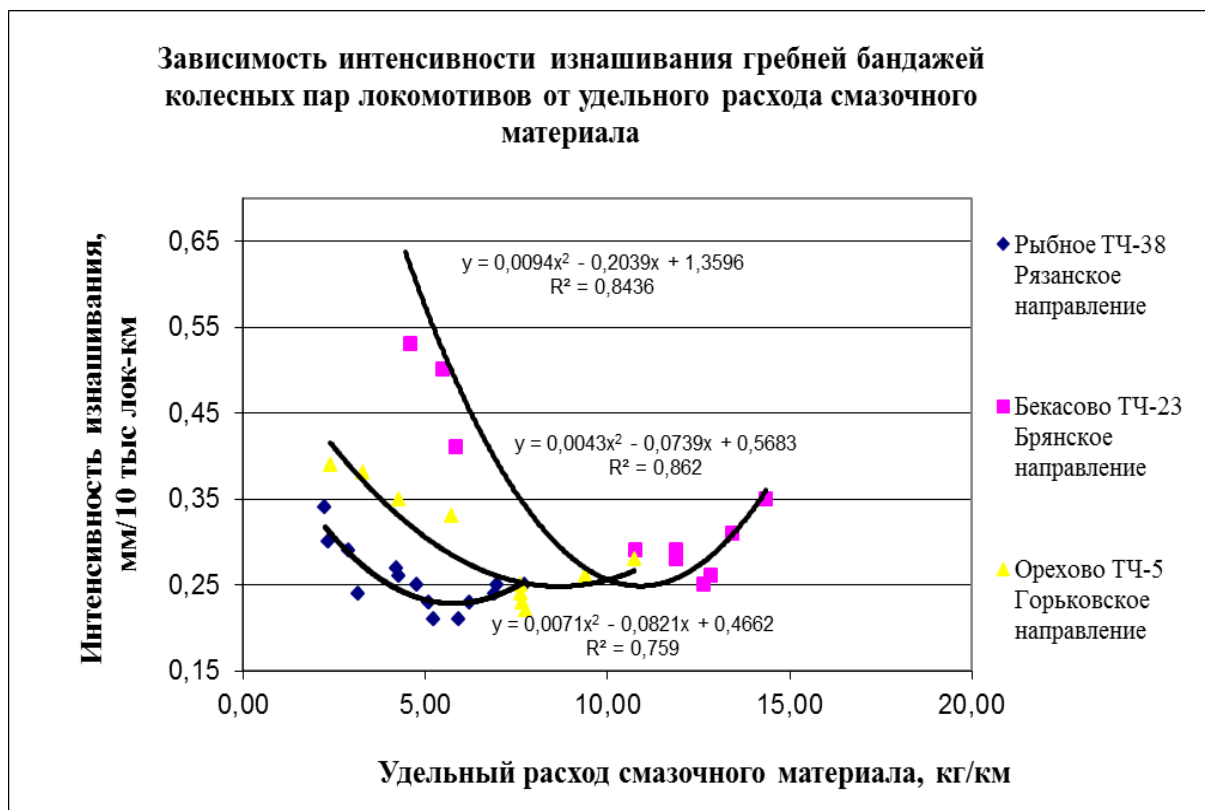


Рисунок 2.3 - Результаты обработки статистических данных

Из полученных регрессионных уравнений можно определить величины удельных расходов смазочного материала, при которых достигаются минимумы результирующих показателей. Для этого определим производные уравнений и посчитаем по формуле

$$\text{смазочный материал} = -\frac{b}{2a} \quad (2.8)$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Относительное отклонение удельных расходов смазочного материала по выбранным критериям, %

Наименование депо	Удельный расход смазочного материала кг/км		Относительное отклонение удельных расходов смазочного материала, % $\Delta_{\text{относит}} = \frac{ C' - C'' }{C''} \cdot 100$
	по критерию min удельного расхода электроэнергии на тягу поездов - C'	по критерию min интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов - C''	
1	2	3	4
Бекасово ТЧ-23	10,0	10,8	7,4
Рыбное ТЧ-38	6,78	5,8	16,9
Орехово ТЧ-5	8,7	8,5	2,4

Анализ таблицы показывает на несовпадение удельных расходов смазочного материала при достижении оптимальных величин изучаемыми критериями. Относительные отклонения составляют от 2,4 до 16,9%. Несовпадение экстремумов по изучаемым критериям связано со сложностями планов и профилей путей на полигонах управления тяговыми ресурсами Московской железной дороги и свидетельствует о дополнительных трудностях в процессе планирования оптимальных удельных расходов смазочных материалов, при которых достигаются экстремумы по каждому выбранному критерию.

Величины удельных расходов смазочных материалов, при которых достигаются минимумы результирующих показателей, дают возможность определить коэффициент эффективности лубрикации ($K_{л\text{убр.}}$) как отношение среднего снижения удельного энергопотребления или интенсивности изнашивания на единицу объема смазочного материала к энергетической оценке потребительных свойств транспортной продукции.

В таблице 2.2 приведены показатели эффективности лубрикации по интенсивности изнашивания и предложен относительный показатель для оценки эффективности лубрикации $K_{л\text{убр.}}^{u/u}$.

Таблица 2.2 - Влияние лубрикации на интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов

Наименование локомотивных депо Московской железной дороги	Удельный расход смазочного материала, кг/км $C_{\text{опт}}$	Расчетная энергетическая оценка потребительных свойств транспортной продукции, млн. Дж, $E_{\text{кин}} = \frac{QV^2}{2}$	Интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов, мм/10 тыс. лок-км, I		Удельное значение интенсивности изнашивания мм/1 кг смазочного материала $\mathcal{E}_{л\text{убр.}}^{u/u} = \frac{\Delta I}{C_{\text{опт.}}}$ $\Delta I = I^1 - I''$	Коэффициент эффективности лубрикации по энергетической оценке потребительных свойств транспортной продукции, мм/10 ⁶ Дж $K_{л\text{убр.}}^{u/u} = \frac{\mathcal{E}_{л\text{убр.}}^{u/u}}{E_{\text{кин}}}$
			без лубрикации I^1	с применением лубрикации I''		
Бекасово ТЧ-23	10,8	5,45	0,55	0,25	0,3/10=0,03	0,0055
Рыбное ТЧ-38	5,8	5,0	0,33	0,24	0,09/5,8=0,015	0,0030
Орехово ТЧ-5	8,5	4,07	0,35	0,25	0,10/8,5=0,012	0,0029

В таблице 2.3 приведены показатели эффективности лубрикации по удельному расходу электроэнергии на тягу поездов и предложен относительный показатель для оценки эффективности лубрикации $K_{л\text{убр.}}^{\text{э/э}}$.

Таблица 2.3 - Влияние лубрикации на удельный расход электроэнергии на тягу поездов

Наименование локомотивных депо Московской железной дороги	Удельный расход смазки, кг/км $C_{онт}$	Расчетная энергетическая оценка потребительных свойств транспортной продукции, млн. Дж, $E_{кин} = \frac{QV^2}{2}$	Удельный расход электроэнергии на тягу поездов, кВт ч на 10 тыс. ткм брутто e		Удельная экономия электроэнергии и от лубрикации, кВт ч/ 1 кг смазочного материала $\mathcal{E}_{лубр.} = \frac{\Delta e}{C_{онт.}}$ $\Delta e = e' - e''$	Коэффициент эффективности лубрикации по энергетической оценке потребительных свойств транспортной продукции, мм/10 ⁶ Дж $K_{лубр.}^{\mathcal{E}/\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}_{лубр.}}{E_{кин}}; ,$
			без лубрикации e'	с применением лубрикации e''		
Бекасово ТЧ-23	10,0	5,45	107,0	102,0	5/10=0,5	0,0917
Рыбное ТЧ-38	6,78	5,0	102,0	90,0	12,0/6,78=1,77	0,3400
Орехово ТЧ-5	8,7	4,07	101,0	83,0	18,0/8,82=2,04	0,4910

Соотношение интенсивностей изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов и удельного энергопотребления на тягу поездов без применения и с применением лубрикации показывает эффективность ее применения.

Как установили проведенные исследования, несовпадения экстремумов в функциональных зависимостях размеров лубрикации с удельным расходом электроэнергии на тягу поездов и интенсивностью изнашивания указывают на необходимость учитывать специфику эксплуатационной работы локомотивов на конкретных железнодорожных участках.

2.2. Построение моделей оценки влияния расхода смазочных материалов на удельное энергопотребление на тягу поездов и интенсивность износа гребней бандажей колесных пар локомотивов

Процесс оптимизации лежит в основе всей инженерной деятельности, поскольку классические функции инженера заключаются в том, чтобы, с одной стороны, проектировать новые более эффективные и менее дорогостоящие

технические системы и, с другой стороны, разрабатывать методы повышения качества функционирования систем.

Для того, чтобы использовать математические результаты и численные методы теории оптимизации для решения конкретных инженерных задач необходимо:

- определить конкретный критерий (функцию цели), на основе которого можно произвести анализ вариантов с целью выявления «наилучшего»;
- осуществить выбор внутрисистемных переменных;
- установить границы подлежащей оптимизации инженерной системы;
- построить модель отражающую взаимосвязь между переменными.

Границы системы - задаются пределами, отделяющими систему от внешней среды.

Проектные параметры - неизвестные величины, значение которых определяются в процессе оптимизации. Число проектных параметров характеризует степень сложности задачи проектирования. Число проектных параметров обозначим через n , а сами параметры через $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Целевая функция определяется проектными параметрами:
 $Z_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

На основе статистических данных были построены следующие модели:

1. Модель влияния природно-климатических условий на удельный расход смазочного материала гребней бандажей колесных пар локомотивов

Практика эксплуатации подвижного состава позволила выявить наибольшее влияние на интенсивность износа бандажей колесных пар погодных условий. Величина сцепления связана с увлажнением, загрязнением и со степенью скольжения колес относительно рельсов, а, следовательно, и с процессами, происходящими на поверхностях трения колес и рельсов [44, 79].

Применение аддитивных и мультипликативных моделей при изучении влияния сезонных колебаний удельного расхода смазки базируется на гипотезе о том, что по мере возрастания или уменьшения объемов расхода смазочного материала, соответственно, примерно пропорционально изменяется и абсолютная величина коэффициентов сезонных колебаний, рисунок 2.4.

Иначе это можно выразить так: сезонные колебания остаются примерно постоянными в относительном выражении, постоянной остается их интенсивность, а не абсолютный размах. Эта гипотеза является более соответствующей фактам, и данная модель предпочтительнее, чем аддитивная модель сезонных колебаний, которая также имеет право на существование и будет далее рассмотрена [7].

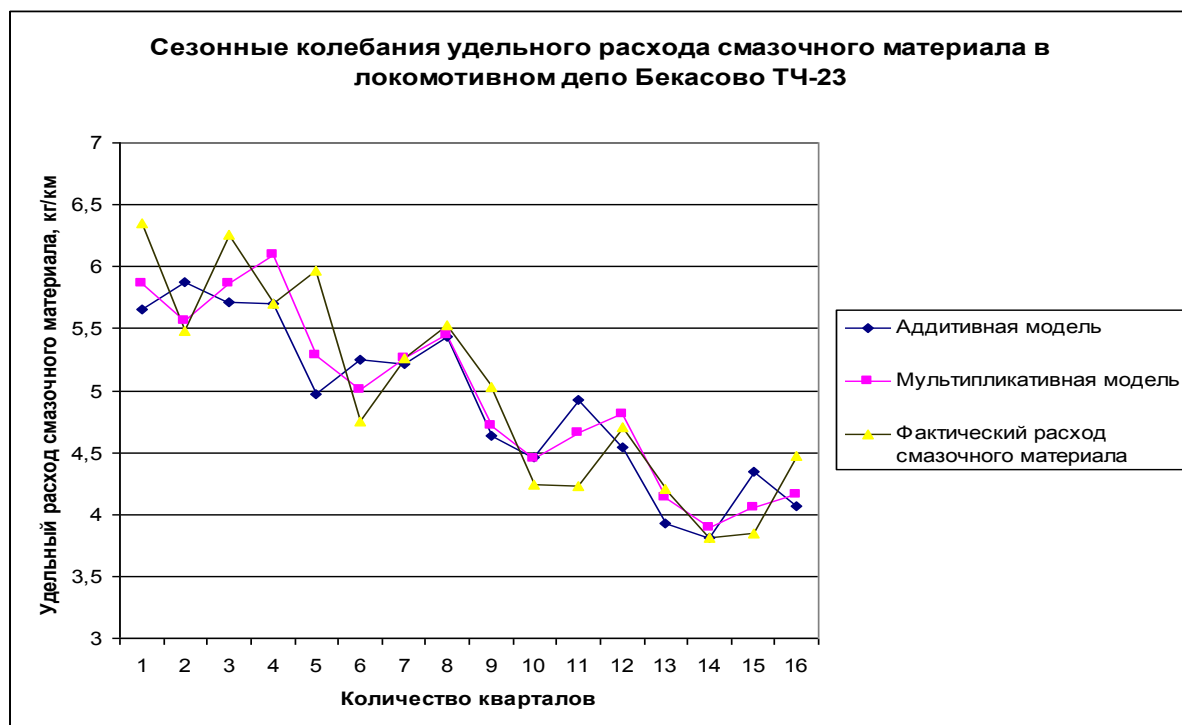


Рисунок 2.4 - Зависимость изменения объемов расхода смазочного материала от сезонных колебаний

В ходе построения аддитивной и мультипликативной моделей сезонных колебаний были получены средние индексы сезонности, таблица 2.4.

Таблица 2.4 - Средние индексы сезонных колебаний (среднее значение – 1,0)

Кварталы	Модели	
	аддитивная	мультипликативная
1 квартал	0,97811	0,96434
2 квартал	0,94727	0,93848
3 квартал	1,01195	1,01449
4 квартал	1,05511	1,08268

На основании выявленных процессов, происходящих на поверхностях трения, предлагаем учитывать сезонные коэффициенты смазки, отражающие закономерности изменения фрикционных характеристик колес и рельсов в зависимости от увлажнения, степени загрязнения и степени смазывания рельсов. Рассчитанные коэффициенты свидетельствуют, что в первом полугодии интенсивность износа поверхностей колес и рельсов ниже по сравнению со вторым полугодием. Это связано с пониженными фрикционными характеристиками в системе «колесо-рельс», возникающими, например, в первом квартале из-за пониженных температур воздуха, что обеспечивает возникновение льда и наличия условий реализации квазигидродинамического режима трения. Во втором квартале - из-за отсутствия избыточной загрязненности и повышенной влажности поверхностей колеса и рельса, что обеспечивает понижение коэффициента трения в системе «колесо-рельс», и, как следствие, понижение интенсивности износа поверхностей колеса и рельса. В третьем и четвертом квартале отмечаются негативные процессы, вызванные повышенным содержанием грязевых отложений в зоне контакта колеса и рельса без достаточного увлажнения. Это ухудшает физические процессы интенсивности износа поверхностей рассматриваемой системы. В четвертом квартале повышенная интенсивность вызвана процессами увлажнения грязевых остатков, которые превращаются в валики загрязнения и тем самым способствуют повышенной интенсивности износа. Поэтому рассмотренные в работах Ю.М.

Лужнова и других авторов [77, 76, 79, 89] технологические процессы интенсивности износа в системе «колесо-рельс» позволяют предполагать наличие оптимальных коэффициентов сезонности, которые соответствуют планируемым удельным расходам смазочного материала для конкретного локомотивного депо и наоборот, коэффициенту сезонности соответствует определенное рациональное количество смазочного материала.

Проведенные исследования установили наличие сезонных колебаний удельного расхода смазочного материала в размере $\pm 5\%$ от среднегодовой величины, о чем свидетельствуют коэффициенты в построенных мультипликативных моделях, таблица 2.4.

Таким образом, фактор сезонности не введен для локомотивных депо Московской железной дороги.

2. Многофакторная модель влияния лубрикации гребней бандажей колесных пар локомотива на удельный расход электроэнергии

Удельный расход электроэнергии на тягу поездов является функцией Z_1 зависящей от следующих факторов:

X_1 – удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_2 – интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар, мм;

X_3 – сезонность (0 - сухой сезон, 1- влажный сезон).

Оценка условий минимизации удельного расхода электроэнергии требует анализа величин управляемых факторов [85].

$$Z_1 = f_1(x_i) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min$$

Данная модель схематично представлена на рисунке 2.5.

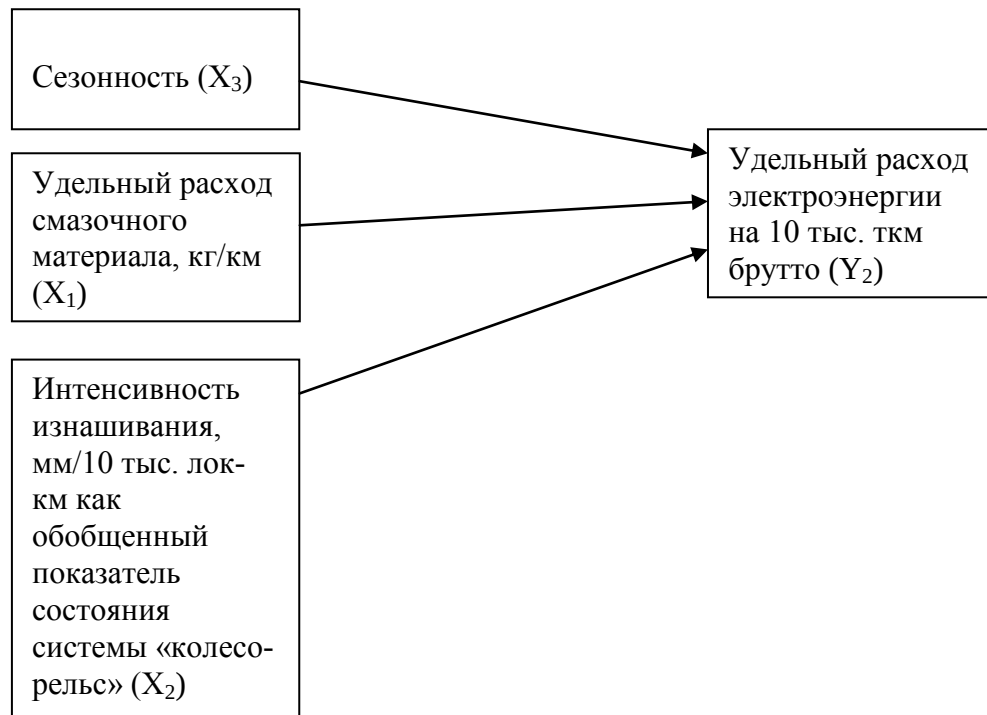


Рис. 2.5 - Алгоритм расчета многофакторной модели влияния лубрикации гребней бандажей колесных пар локомотива на удельный расход электроэнергии

Этап 1. Описательная статистика для модели расчета удельного расхода электроэнергии

На подготовительном этапе для построения качественных линейных регрессионных моделей необходимо проверить исходные данные статистики изучаемых факторов на соответствие их распределения нормальному закону.

Была проведена количественная оценка степени отклонения информации от нормального распределения, которой служит отношение показателя асимметрии к ее ошибке и отношение показателя эксцесса к его ошибке.

Когда отношения A/m_a и E/m_e меньше 3, то асимметрия и эксцесс не имеют существенного значения и исследуемая информация подчиняется закону нормального распределения.

Во всех случаях отношения A/m_a и E/m_e не превышают 3, это означает, что исходная информация соответствует нормальному закону, таблица 2.5.

Таблица 2.5 - Описательная статистика для модели расчета удельного расхода электроэнергии на тягу поездов

Локомотивное депо Показатели	Удельный расход электроэнергии (Y)			Удельный расход смазочного материала (X ₁)			Интенсивность изнашивания гребней (X ₂)			Сезонность (X ₃)		
	Бекасово	Рыбное	Орехово	Бекасово	Рыбное	Орехово	Бекасово	Рыбное	Орехово	Бекасово	Рыбное	Орехово
Среднее	106,85	98,21	97,34	9,08	4,69	6,81	0,27	0,29	0,24	0,60	0,50	0,71
	108,18	96,01	96,77	11,71	7,13	10,27	0,23	0,25	0,22	0,63	0,60	0,44
Стандартная ошибка	0,71	1,27	0,73	0,14	0,13	0,15	0,01	0,01	0,01	0,07	0,09	0,07
	1,18	0,41	0,80	0,22	0,25	0,17	0,01	0,01	0,01	0,09	0,07	0,08
Медиана	105,31	99,40	97,80	9,50	3,86	7,26	0,27	0,31	0,26	1,00	0,50	1,00
	106,48	96,30	96,20	10,94	6,86	10,74	0,24	0,28	0,23	1,00	1,00	0,00
Мода	109,42	103,60	103,40	7,02	3,31	7,63	0,18	0,31	0,28	1,00	1,00	1,00
	109,84	92,61	89,40	10,46	5,23	10,74	0,20	0,16	0,29	1,00	1,00	0,00
Стандартное отклонение	4,74	6,98	4,76	0,94	0,69	0,95	0,08	0,06	0,04	0,50	0,51	0,46
	6,66	2,78	4,82	1,25	1,65	1,02	0,08	0,10	0,06	0,49	0,50	0,50
Дисперсия выборки	22,48	48,66	22,66	0,89	0,47	0,90	0,01	0,00	0,00	0,25	0,26	0,21
	44,32	7,75	23,24	1,56	2,73	1,04	0,01	0,01	0,00	0,24	0,25	0,25
Эксцесс	-0,29	-0,53	-1,41	-0,22	-1,44	-0,64	-1,07	0,27	-1,40	-1,91	-2,15	-1,09
	-1,85	-1,52	-1,27	-1,77	-1,41	-1,26	0,45	-1,06	-1,57	-1,82	-1,91	-2,06
Асимметричность	0,22	0,81	-0,29	-0,98	-0,06	-0,81	0,31	-1,38	-0,56	-0,42	0,00	-0,98
	0,22	0,01	-0,23	0,51	0,39	-0,58	-0,65	0,02	-0,17	-0,54	-0,42	0,23
Интервал	18,09	21,10	13,10	2,89	2,04	2,63	0,26	0,16	0,10	1,00	1,00	1,00
	15,91	8,32	14,00	2,92	4,59	2,81	0,30	0,35	0,15	1,00	1,00	1,00
Минимум	97,52	94,10	90,30	7,02	2,76	5,00	0,16	0,18	0,18	0,00	0,00	0,00
	101,36	92,18	89,40	10,46	5,23	8,67	0,06	0,08	0,14	0,00	0,00	0,00
Максимум	115,62	115,20	103,40	9,92	4,80	7,63	0,42	0,34	0,28	1,00	1,00	1,00
	117,27	100,50	103,40	13,39	9,82	11,48	0,36	0,43	0,29	1,00	1,00	0,44

Этап 2. Матрица парных коэффициентов корреляции

Решение задачи многофакторного корреляционного анализа проведено на ПЭВМ по типовым программам.

Формируется матрица исходных данных, в первой колонке которой записывается порядковый номер наблюдения, во второй - результативный показатель (Y), а в следующих - факторные показатели (x_i).

Эти сведения вводятся в ПЭВМ и рассчитываются матрицы парных и частных коэффициентов корреляции, уравнение множественной регрессии, а также показатели, с помощью которых оценивается надежность коэффициентов корреляции и уравнения связи: критерий Стьюдента, критерий Фишера, средняя ошибка аппроксимации, множественные коэффициенты корреляции и детерминации.

На основе изучения матрицы парных и частных коэффициентов корреляции сделан вывод о тесноте связи между изучаемыми явлениями. Коэффициенты парной корреляции характеризуют тесноту связи между двумя показателями в общем виде с учетом взаимосвязей факторов, оказывающих воздействие на результативный показатель.

Данные таблицы 2.6 свидетельствуют о том, что все факторы оказывают значимое воздействие на уровень результирующего показателя.

Таблица 2.6 - Результаты анализа корреляционных связей расхода электроэнергии на тягу поездов и выбранных факторов

Наименование депо	Удельный расход смазочного материала	Показатели	Y	X_1	X_2	X_3
Бекасово	(7,0-10,0)	Y	1			
		X_1	-0,774	1		
		X_2	-0,703	0,340	1	
		X_3	0,731	-0,407	-0,610	1
	(10,00-13,00)	Y	1			
		X_1	0,876	1		

		X_2	-0,796	-0,732	1	
		X_3	0,783	0,560	-0,353	1
Рыбное	(2,0-5,0)	Y	1			
		X_1	-0,788	1		
		X_2	-0,759	0,606	1	
		X_3	0,825	-0,633	-0,378	1
	(5,0-10,0)	Y	1			
		X_1	-0,836	1		
		X_2	-0,803	0,745	1	
		X_3	-0,734	0,736	0,668	1
Орехово	(5,0-8,0)	Y	1			
		X_1	-0,855	1		
		X_2	-0,747	0,698	1	
		X_3	0,866	-0,556	-0,543	1
	(8,0-11,0)	Y	1			
		X_1	0,806	1		
		X_2	0,907	0,547	1	
		X_3	0,881	0,682	0,729	1

X_1 – удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_2 – интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар, мм;

X_3 – сезонность (0 – сухой сезон, 1 влажный сезон)

Этап 3. Результаты расчета уравнения связи многофакторной модели

На данном этапе вводим последовательно в уравнения регрессии изучаемые факторы и рассчитываем коэффициент регрессии – R , коэффициент детерминации – D , критерий Фишера – F и относительную ошибку – E . Включение дополнительного фактора в уравнение регрессии целесообразно если перечисленные показатели улучшаются. Результаты расчетов представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Результаты расчета уравнения связи многофакторной модели
удельного расхода электроэнергии и выбранных факторов

Название локомотивного депо	Удельный расход смазочного материала, кг/км	Уравнение связи	R	D	F	E
Бекасово ТЧ-23	7,0 – 10,0	$Y_X = 136,4472 - 3,2506x_1$	0,613	0,376	25,250	3,822
		$Y_X = 122,2637 - 2,05496x_1 + 5,5461196x_3$	0,811	0,658	39,390	2,864
		$Y_X = 128,0779 - 1,89178x_1 - 22,6798x_2 + 3,4983x_3$	0,864	0,746	39,090	2,500
	10,0-13,0	$Y_X = 53,5287 + 4,6684x_1$	0,876	0,767	98,850	3,266
		$Y_X = 64,8081 + 3,3971x_1 + 5,7669x_3$	0,944	0,892	119,510	2,264
		$Y_X = 88,4516 + 1,9511x_1 - 29,6296x_2 + 5,9530x_3$	0,981	0,963	234,790	1,369
Рыбное ТЧ-38	2,0-5,0	$Y_X = 131,6965 - 8,0547x_1$	0,788	0,620	44,100	4,447
		$Y_X = 114,5733 - 4,5096x_1 + 7,7220x_3$	0,899	0,807	54,440	3,229
		$Y_X = 127,331 - 3,314x_1 - 59,858x_2 + 7,938x_3$	0,963	0,926	104,880	2,035
	5,0-10,0	$Y_X = 87,3941 + 1,2140x_1$	0,723	0,522	29,490	1,952
		$Y_X = 89,3743 + 0,7190x_1 + 2,5425x_3$	0,800	0,640	23,150	1,726
		$Y = 96,4818 + 1,4027x_1 - 15,4184x_2 + 0,8659x_3$	0,858	0,736	138,620	1,509
Орехово ТЧ-5	5,0-8,0	$Y_X = 127,2823 - 4,3915x_1$	0,850	0,723	101,820	2,516
		$Y_X = 111,8776 - 2,7494x_1 + 5,8729x_3$	0,975	0,950	363,670	1,079
		$Y_X = 113,0464 - 2,3329x_1 - 15,8051x_2 + 5,5875x_3$	0,979	0,959	284,910	1,000
	8,0-11,0	$Y_X = 58,2337 + 3,7558x_1$	0,791	0,626	55,160	2,931
		$Y_X = 76,6058 + 1,7101x_1 + 5,9736x_3$	0,922	0,849	90,080	1,890
		$Y_X = 69,3197 + 1,5801x_1 + 45,3685x_2 + 2,5582x_3$	0,992	0,984	632,440	0,627

X_1 – удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_2 – интенсивность износа гребней бандажей колесных пар, мм;

X_3 – сезонность (0 – сухой сезон, 1- влажный сезон)

Достоверность полученных коэффициентов в уравнениях регрессии проверена по критерию Фишера. Во всех случаях имеет место значительное превышение фактических значений над табличными, что свидетельствует о достоверности расчетов.

Этап 4. Таблицы регрессионного анализа

Достоверность полученных коэффициентов уравнений линейной регрессии целесообразно проверить по *t* – критерию Стьюдента.

Достоверность коэффициентов линейной регрессии определяется при помощи сопоставлений табличных значений с фактическими. Для вероятности 95% и количества наблюдений свыше 30 величина критерия *t* должна быть больше 2. Приведенные в таблице 2.8 результаты проверки отвечают необходимым требованиям.

Таблица 2.8 - Фактические значения *t* – критерия Стьюдента коэффициентов уравнений линейной регрессии удельного расхода электроэнергии на тягу поездов

Локомотивное депо	Удельный расход смазочного материала, кг/км	Уравнение
Бекасово	с 7,0 до 10,0	$Yx = 128,0779 - 1,89178x_1 - 22,6798x_2 + 3,4983x_3$ $t = 27,30 \quad t = -4,09 \quad t = -3,72 \quad t = 3,50$
	10,0 до 13,0	$Yx = 88,4516 + 1,9511x_1 - 29,6296x_2 + 5,9530x_3$ $t = 18,36 \quad t = 5,47 \quad t = -6,61 \quad t = 9,28$
Рыбное	с 2,0 до 5,0	$Yx = 127,331 - 3,314x_1 - 59,858x_2 + 7,938x_3$ $t = 35,26 \quad t = -3,49 \quad t = -6,20 \quad t = 7,21$
	5,0 до 10,0	$Y = 96,4818 + 1,4027x_1 - 15,4184x_2 + 0,8659x_3$ $t = 79,80 \quad t = 3,77 \quad t = -6,79 \quad t = 2,14$
Орехово	с 5,0 до 8,0	$Yx = 113,0464 - 2,3329x_1 - 15,8051x_2 + 5,5875x_3$ $t = 67,70 \quad t = -9,01 \quad t = -2,70 \quad t = 13,10$
	8,0 до 11,0	$Yx = 69,3197 + 1,5801x_1 + 45,3685x_2 + 2,5582x_3$ $t = 46,29 \quad t = 10,78 \quad t = 16,12 \quad t = 7,16$

X_1 – удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_2 – интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар, мм;

X_3 – сезонность (0 – сухой сезон, 1 влажный сезон).

Этап 5. Статистическая оценка результатов корреляционного анализа и практическое их применение

Проведенная работа по построению регрессионных моделей зависимости удельного расхода электроэнергии на тягу поездов от выбранных факторов позволяет прогнозировать перспективное изменение результирующего показателя от задаваемых величин факторов с высокой степенью достоверности, что подтверждается графически, рисунок 2.6, 2.7, 2.8.

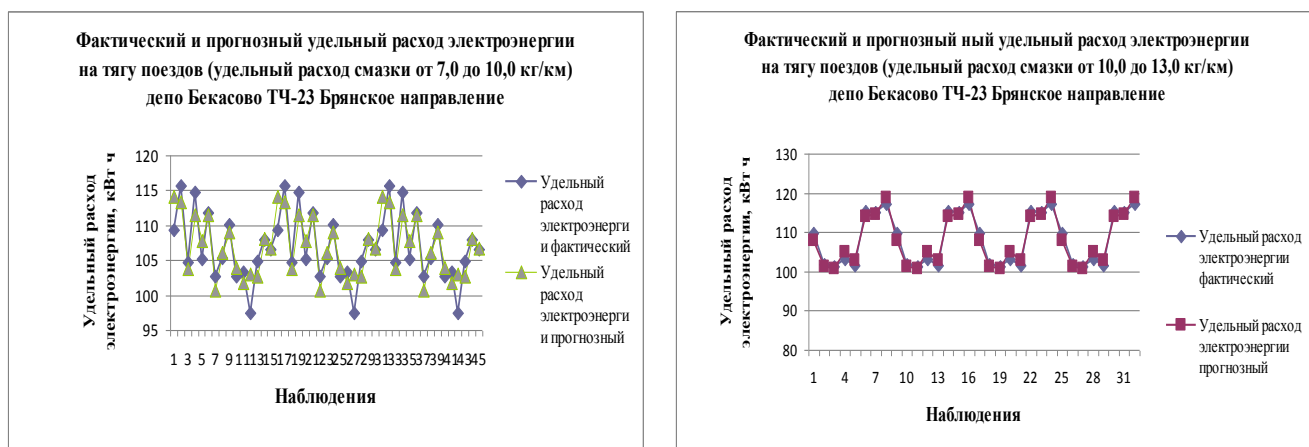


Рисунок 2.6 - Фактический и прогнозный удельный расход электроэнергии на тягу поездов депо Бекасово ТЧ-23 Брянское направление

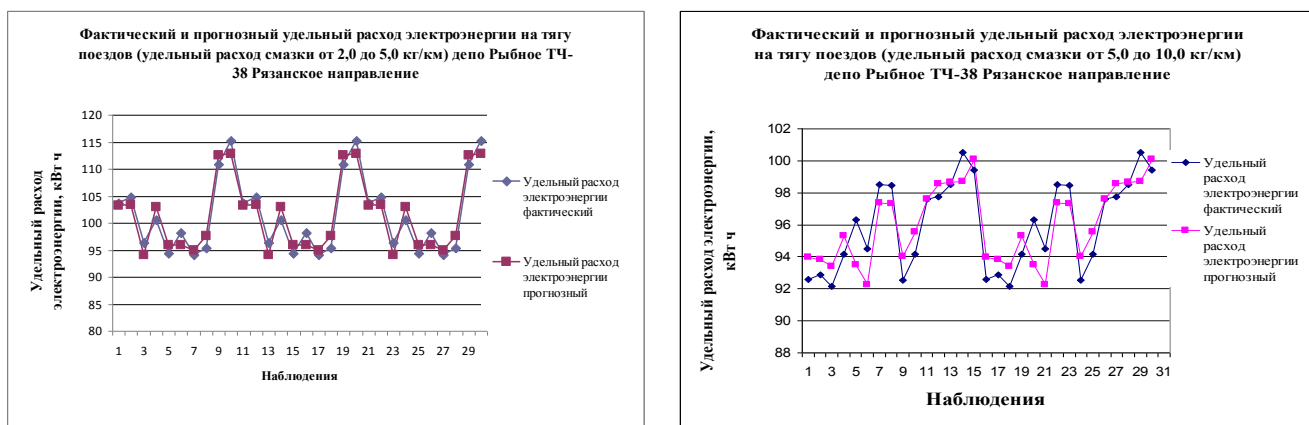


Рисунок 2.7 - Фактический и прогнозный удельный расход электроэнергии на тягу поездов депо Рыбное ТЧ-38 Рязанское направление

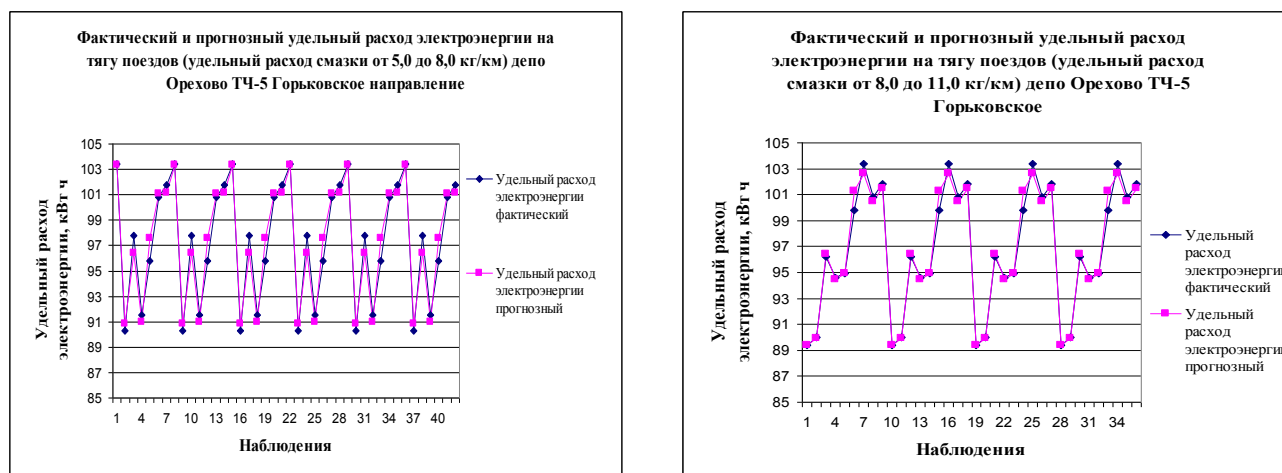


Рис. 2.8 - Фактический и прогнозный удельный расход электроэнергии на тягу поездов депо Орехово ТЧ-5 Горьковское направление

3. Многофакторная модель влияния лубрикации на интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов

Пусть интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов является функцией Z_2 зависящей от следующих факторов, таблица 2.10:

X_1 – скорость, км/час;

X_2 - удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_3 – вес поезда, т

Тогда можно записать $Z_2 = f_2(x_i) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min$.

Данная модель схематично она представлена на рисунке 2.9.

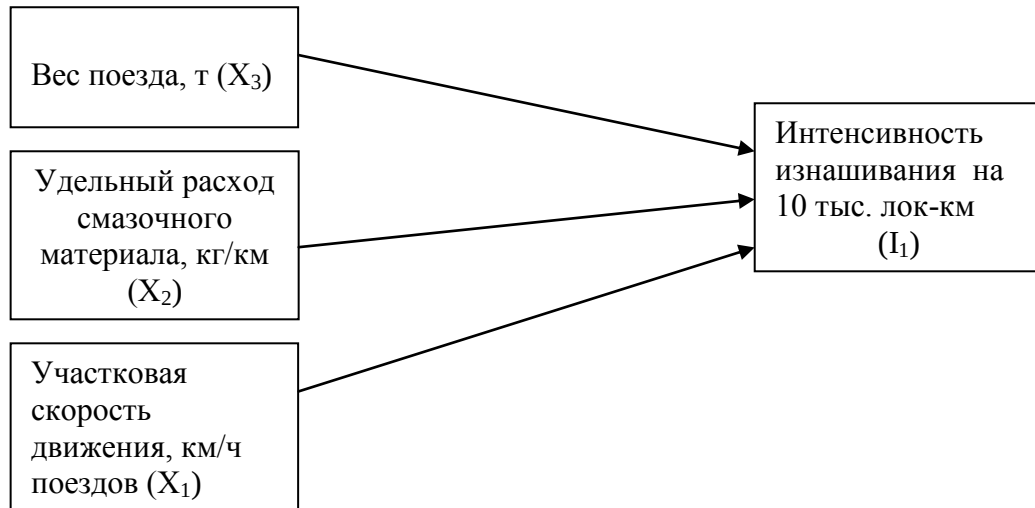


Рис. 2.9 - Алгоритм расчета многофакторной модели влияния лубрикации на интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов

Этап 1. Описательная статистика для модели влияния лубрикации на интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов, (таблица 2.9)

Таблица 2.9 - Описательная статистика влияния лубрикации на интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов

Локомотивное депо Показатели	Интенсивность изнашивания (Y)			Скорость движения поездов (X ₁)			Удельный расход смазочного материала (X ₂)			Вес поезда (X ₃)		
	Бекасово	Рыбное	Орехово	Бекасово	Рыбное	Орехово	Бекасово	Рыбное	Орехово	Бекасово	Рыбное	Орехово
Среднее	0,254	0,304	0,289	50,170	48,57	42,446	8,573	3,783	6,669	3642,189	4018	3980
	0,273	0,268	0,267	50,190	48,630	42,009	11,578	7,043	10,742	3527,988	3713,783	4247
Стандартная ошибка	0,002	0,004	0,003	0,484	0,354	0,416	0,128	0,108	0,146	15,101	23,233	32,048
	0,004	0,0111	0,003	0,338	0,867	0,261	0,133	0,247	0,211	17,535	85,003	8,470
Медиана	0,253	0,305	0,29	48,3	48,95	42,65	8,898	3,75	6,4	3679	4018,5	3960
	0,265	0,27	0,270	49,25	48,6	42	10,98	6,96	10,9	3535	3823	4244
Мода	0,271	0,25	0,31	47,8	48	41	7,313	3,8	5,9	3702	3900	4100
	0,280	0,16	0,25	46,5	44,3	41,1	10,98	7,72	11,13	3500	3000	4210
Стандартное отклонение	0,016	0,031	0,020	3,521	2,501	2,881	0,929	0,758	1,010	109,940	164,284	222,041
	0,032	0,055	0,017	3,019	4,160	1,7149	1,189	1,182	1,384	156,842	407,660	55,545
Дисперсия выборки	0,000	0,001	0,0004	12,401	6,256	8,301	0,863	0,574	1,020	12086,69	26989,1	49302,128
	0,001	0,003	0,0003	9,114	17,308	2,939	1,413	1,398	1,916	24599,43	166186,5	3085,286
Экссесс	-1,095	-0,923	-1,230	-,813	-0,590	-0,897	-1,111	-0,640	0,417	0,182	-1,089	-1,126
	0,070	-0,17	-1,261	-0,168	-1,247	-0,575	-0,918	-0,526	-0,848	-0,377	-1,142	-0,594
Асимметричность	0,016	-0,095	0,022	0,839	-0,478	-0,133	0,253	-0,220	0,927	-0,831	0,067	0,306
	0,800	-0,463	-0,083	0,702	-0,046	0,253	0,486	0,120	-0,146	-0,382	-0,360	0,154
Интервал	0,054	0,11	0,06	10,4	9	10,3	3,131	2,93	4,3	419	590	780
	0,130	0,19	0,05	12,8	13,5	6,2	5,23	4,34	5,2	700	1280	230
Минимум	0,226	0,25	0,26	46,5	44	37	6,982	2,17	5,1	3400	3700	3610
	0,230	0,16	0,24	45	41,6	39,3	8,75	5,1	8,2	3100	3000	4120
Максимум	0,280	0,36	0,32	56,9	53	47,3	10,113	5,1	9,4	3819	4290	4390
	0,360	0,35	0,29	57,8	55,1	45,5	13,98	9,44	13,4	3800	4280	4350

Этап 2. Матрица парных коэффициентов корреляции (таблица 2.10)

Таблица 2.10 - Результаты анализа корреляционных связей интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов и выбранных факторов

Наименование депо	Удельный расход смазочного материала	Показатели	Y	X ₁	X ₂	X ₃
Бекасово ТЧ-23	(7,0-10,0)	Y	1			
		X ₁	0,711	1		
		X ₂	-0,851	-0,669	1	
		X ₃	0,716	0,426	0,468	1
	(10,00-13,00)	Y	1			
		X ₁ (скорость)	0,793	1		
		X ₂ (смазка)	0,748	0,626	1	
		X ₃ Вес поезда	0,729	0,553	0,682	1
Рыбное ТЧ-38	(2,0-5,0)	Y	1			
		X ₁ (скорость)	0,711	1		
		X ₂ (смазка)	-0,850	-0,669	1	
		X ₃ Вес поезда	0,716	0,426	-0,468	1
	(5,0-10,0)	Y	1			
		X ₁ (скорость)	0,852	1		
		X ₂ (смазка)	-0,873	0,617	1	
		X ₃ Вес поезда	0,858	0,649	0,627	1
Орехово ТЧ-5	(5,0-8,0)	Y	1			
		X ₁ (скорость)	0,814	1		
		X ₂ (смазка)	-0,858	-0,702	1	
		X ₃ Вес поезда	0,789	0,666	-0,623	1
	(8,0-11,0)	Y	1			
		X ₁ (скорость)	0,879	1		
		X ₂ (смазка)	0,726	0,614	1	
		X ₃ Вес поезда	0,794	0,656	0,497	1

X₁ – скорость, км/час;

X₂ - удельный расход смазочного материала, кг/км;

X₃ – вес поезда, т

Этап 3. Результаты расчета уравнения связи многофакторной модели
(таблица 2.11)

Таблица 2.11 - Результаты расчета уравнения связи многофакторной модели интенсивности изнашивания гребней колесных пар локомотивов и выбранных факторов

Название локомотивного депо	Удельный расход смазочного материала, кг/км	Уравнение связи	R-коэффициент регрессии	D-коэффициент детерминации	F-критерий Фишера	Е-относительная ошибка
Бекасово ТЧ-23	7,0 – 10,0	$Y_X = 136,4472 - 3,2506x_1$	0,613	0,376	25,250	3,822
		$Y_X = 122,2637 - 2,05496x_1 + 5,5461196x_3$	0,811	0,658	39,390	2,864
		$Y_X = 0,095711 + 0,001x_1 - 0,00888x_2 + 0,0000506x_3$	0,898	0,904	157,196	0,005
	10,0-13,0	$Y_X = 53,5287 + 4,6684x_1$	0,876	0,767	98,850	3,266
		$Y_X = 64,8081 + 3,3971x_1 + 5,7669x_3$	0,944	0,892	119,510	2,264
		$Y_X = -0,25433254 + 0,004977x_1 + 0,006592x_2 + 0,00005714x_3$	0,884	0,782	91,814	0,015
Рыбное ТЧ-38	2,0-5,0	$Y_X = 131,6965 - 8,0547x_1$	0,788	0,620	44,100	4,447
		$Y_X = 114,5733 - 4,5096x_1 + 7,7220x_3$	0,899	0,807	54,440	3,229
		$Y_X = 0,076606 + 0,004264x_1 - 0,02374x_2 + 0,0000276x_3$	0,835	0,798	199,138	0,007
	5,0-10,0	$Y_X = 87,3941 + 1,2140x_1$	0,723	0,522	29,490	1,952
		$Y_X = 89,3743 + 0,7190x_1 + 2,5425x_3$	0,800	0,640	23,150	1,726
		$Y_X = -0,1546 + 0,00522x_1 - 0,00907x_2 + 0,000062x_3$	0,870	0,878	150,819	0,007
Орехово ТЧ-5	5,0-8,0	$Y_X = 127,2823 - 4,3915x_1$	0,850	0,723	101,820	2,516
		$Y_X = 111,8776 - 2,7494x_1 + 5,8729x_3$	0,975	0,950	363,670	1,079
		$Y_X = 0,158186 + 0,001918x_1 - 0,00925x_2 + 0,000028x_3$	0,865	0,874	101,664	0,007

8,0- 11,0	$Y_x = 58,2337 + 3,7558x_1$	0,791	0,626	55,160	2,931
	$Y_x = 76,6058 + 1,7101x_1 + 5,9736x_3$	0,922	0,849	90,080	1,890
	$Y_x = -0,449444 + 0,005027x_1 + 0,007151x_2 + 0,0001135x_3$	0,869	0,878	96,314	0,006

X_1 – скорость, км/час;

X_2 – удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_3 – вес поезда, т

Достоверность полученных коэффициентов в уравнениях регрессии проверена по критерию Фишера. Во всех случаях имеет место значительное превышение фактических значений над табличными, что свидетельствует о достоверности расчетов.

Этап 4. Результаты регрессионного анализа (таблица 2.12)

Таблица 2.12 - Фактические значения t – критерия Стьюдента коэффициентов уравнений линейной регрессии интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов

Локомотивное депо	Удельный расход смазочного материала, кг/км	Уравнение
Бекасово ТЧ-23	с 7,0 до 10,0	$Y_x = 0,095711 + 0,001x_1 - 0,00888x_2 + 0,0000506x_3$ $t = 2,51 \quad t = 3,11 \quad t = -7,04 \quad t = 6,22$
	10,0 до 13,0	$Y_x = -0,254332344 + 0,004977x_1 + 0,006592x_2 + 0,00005714x_3$ $t = -6,07 \quad t = 6,75 \quad t = 3,08 \quad t = 3,88$
Рыбное ТЧ-38	с 2,0 до 5,0	$Y_x = 0,076606 + 0,004264x_1 - 0,02374x_2 + 0,0000276x_3$ $t = 3,40 \quad t = 2,17 \quad t = -2,85 \quad t = 5,10$
	5,0 до 10,0	$Y_x = -0,1546 + 0,00522x_1 + 0,00313x_2 + 0,000083x_3$ $t = -2,49 \quad t = 6,06 \quad t = -2,89 \quad t = 7,53$
Орехово ТЧ-5	с 5,0 до 8,0	$Y_x = 0,158186 + 0,001918x_1 - 0,00925x_2 + 0,000028x_3$ $t = 4,40 \quad t = 3,36 \quad t = -5,96 \quad t = 4,16$
	8,0 до 11,0	$Y_x = -0,449444 + 0,005027x_1 + 0,007151x_2 + 0,0001135x_3$ $t = -5,51 \quad t = 5,58 \quad t = 2,18 \quad t = 4,97$

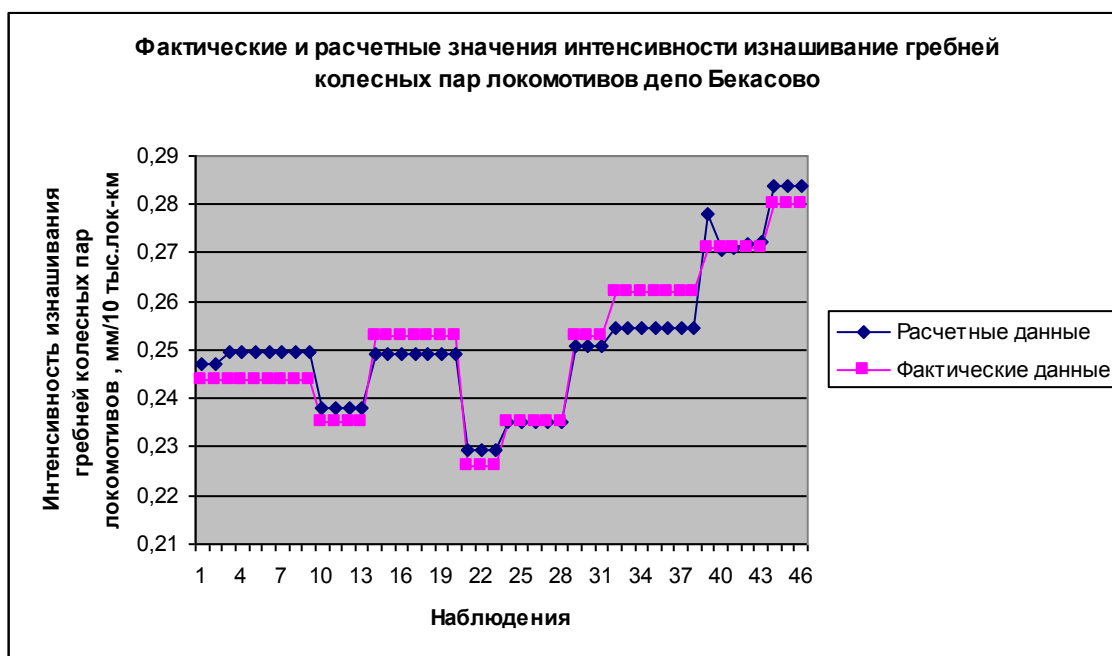
X_1 – скорость, км/час;

X_2 – удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_3 – вес поезда, т

Этап 5. Статистическая оценка результатов корреляционного анализа и практическое их применение

Проведенная работа по построению многофакторных регрессионных моделей зависимости интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов от выбранных факторов позволяет прогнозировать перспективное изменение результирующего показателя от задаваемых величин факторов с высокой степенью достоверности, что подтверждается графически.



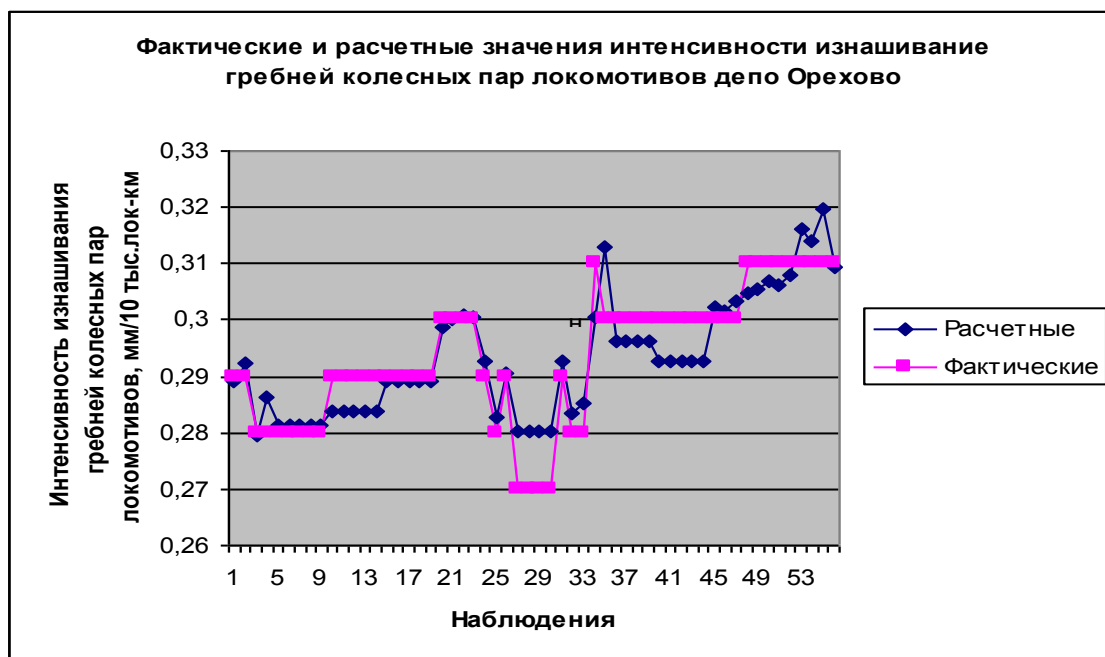
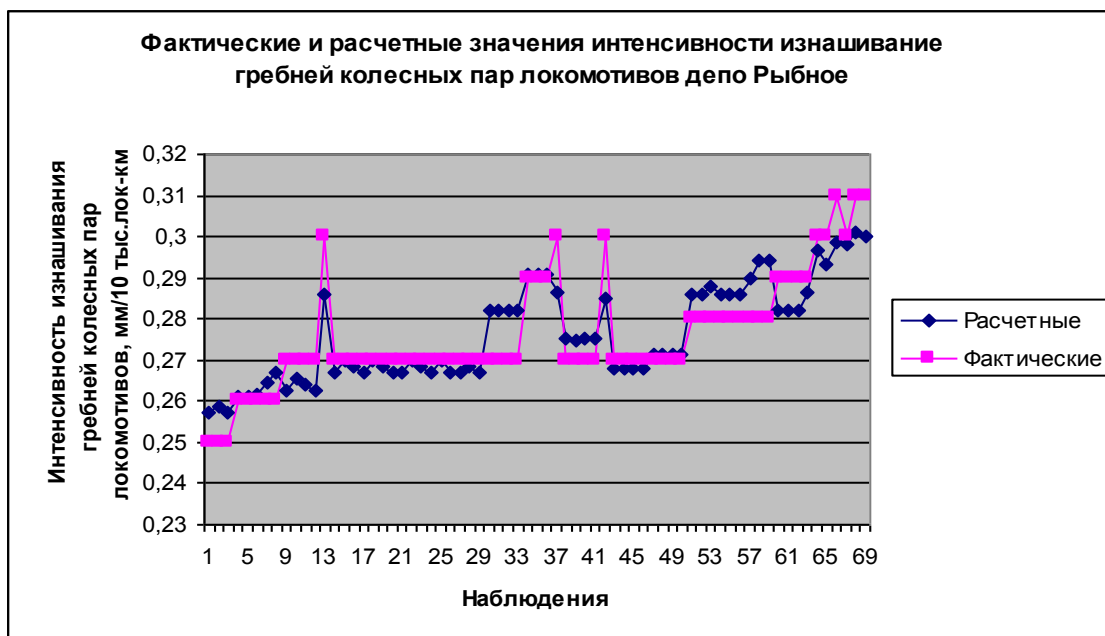


Рисунок 2.10 - Фактическая и прогнозная интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов

4. Многофакторная модель влияния интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов на количество обточек

Пусть количество обточек гребней бандажей колесных пар локомотивов является функцией Z_3 зависящей от следующих факторов:

Y – количество обточек;

X_1 – интенсивность износа гребней бандажей колесных пар, мм;

X_2 – сезонность (0 – сухой сезон, 1 влажный сезон)

Тогда можно записать $Z_3 = f_3(x_i) = f_3(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min$.

Схематично она представлена на рисунке 2.11.

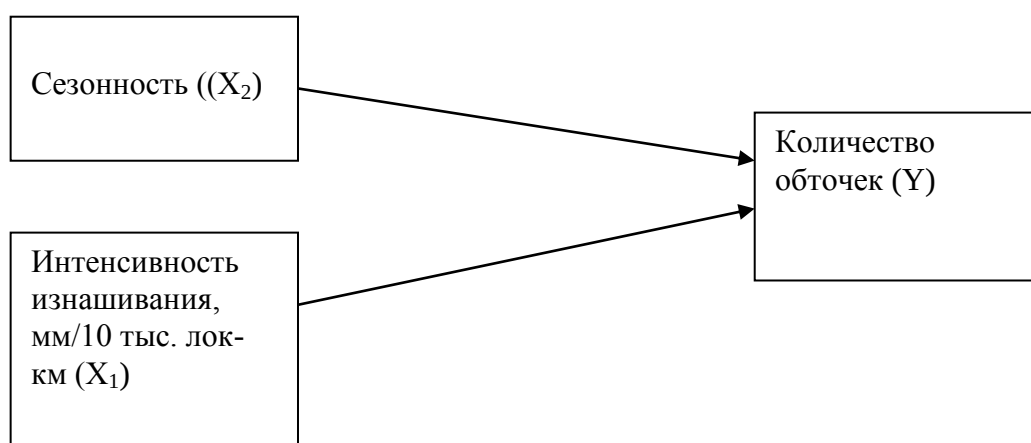


Рисунок 2.11 - Алгоритм расчета многофакторной модели влияния интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов на количество обточек

Этап 1. Описательная статистика для модели влияния интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов на количество обточек (таблица 2.13)

Таблица 2.13 - Описательная статистика для модели влияния интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов на количество обточек

Показатели	Количество обточек			Интенсивность изнашивания			Сезонность		
	Бекасово	Рыбное	Орехово	Бекасово	Рыбное	Орехово	Бекасово	Рыбное	Орехово
Среднее	91,167	50,231	76,000	0,246	0,276	0,283	0,500	0,500	0,467
Стандартная ошибка	8,580	3,544	4,712	0,011	0,009	0,009	0,121	0,100	0,093
Медиана	95,000	49,000	77,000	0,250	0,285	0,300	0,500	0,500	0,000
Мода	119,000	54,000	43,000	0,180	0,230	0,180	0,000	1,000	0,000
Стандартное отклонение	36,400	18,069	25,808	0,047	0,045	0,050	0,514	0,510	0,507
Дисперсия выборки	1324,971	326,505	666,069	0,002	0,002	0,003	0,265	0,260	0,257
Экссесс	0,642	-0,371	-0,901	-0,762	-1,332	0,106	-2,267	-2,174	-2,127
Асимметричность	0,635	0,412	0,390	0,105	-0,192	-0,986	0,000	0,000	0,141
Интервал	138,000	65,000	85,000	0,160	0,140	0,160	1,000	1,000	1,000
Минимум	44,000	22,000	43,000	0,180	0,200	0,180	0,000	0,000	0,000
Максимум	182,000	87,000	128,000	0,340	0,340	0,340	1,000	1,000	1,000

Этап 2. Матрица парных коэффициентов корреляции (таблица 2.14)

Таблица 2.14 - Результаты анализа корреляционных связей модели влияния интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов и выбранных факторов

Локомотивное депо		Y	X ₁	X ₂
Бекасово	Y	1		
	X ₁	0,832	1	
	X ₂	0,828	0,592	1
Рыбное	Y	1		
	X ₁	0,765	1	
	X ₂	-0,763	-0,253	1
Орехово	Y	1		
	X ₁	0,799	1	
	X ₂	0,869	0,720	1

Y – количество обточек;

X₁ – интенсивность износа гребней бандажей колесных пар, мм;

X₂ – сезонность (0 – сухой сезон, 1 влажный сезон)

*Этап 3. Результаты расчета уравнения связи многофакторной модели
(таблица 2.15)*

Достоверность полученных коэффициентов в уравнениях регрессии проверена по критерию Фишера. Во всех случаях имеет место значительное превышение фактических значений над табличными, что свидетельствует о достоверности расчетов.

Таблица 2.15 - Результаты расчета уравнения связи многофакторной модели влияния интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов на количество обточек

Название локомотивного депо	Уравнение связи	R	D	F	E
Бекасово ТЧ-23	$Y_x = -64,2763 + 632,6347x_1$	0,812	0,660	29,060	21,448
	$Y_x = -26,2949 + 403,5527x_1 + 36,4350x_2$	0,922	0,851	39,810	14,710
Рыбное ТЧ-38	$Y_x = -97,223 + 532,7929x_1$	0,901	0,812	95,080	1,046
	$Y_x = -99,9823 + 525,4264x_1 + 8,9189x_2$	0,919	0,845	57,290	10,264
Орехово ТЧ-5	$Y_x = -38,6498 + 408,4969x_1$	0,821	0,674	55,790	14,822
	$Y_x = 6,1511 + 201,81x_1 + 28,5528x_2$	0,909	0,826	61,680	11,036

Y – количество обточек;

X_1 – интенсивность износа гребней бандажей колесных пар, мм;

X_2 – сезонность (0 – сухой сезон, 1 влажный сезон)

Этап 4. Результаты регрессионного анализа (таблица 2.16)

Таблица 2.16 - Фактические значения t – критерия Стьюдента коэффициентов уравнений линейной регрессии модели влияния интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов на количество обточек

Локомотивное депо	Уравнение
Бекасово ТЧ-23	$Y_x = -26,2949 + 403,5527x_1 + 36,4350x_2$ $t = -2,43 \quad t = 8,26 \quad t = 8,08$
Рыбное ТЧ-38	$Y_x = -99,9823 + 525,4264x_1 + 8,9189x_2$ $t = -2,18 \quad t = 19,64 \quad t = -19,56$
Орехово ТЧ-5	$Y_x = 6,1511 + 201,81x_1 + 28,5528x_2$ $t = 2,05 \quad t = 5,47 \quad t = 9,23$

Y – количество обточек;

X_1 – интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар, мм;

X_2 – сезонность (0 – сухой сезон, 1 влажный сезон).

Этап 5. Статистическая оценка результатов корреляционного анализа и практическое их применение приведены на рисунках 2.12, 2.13

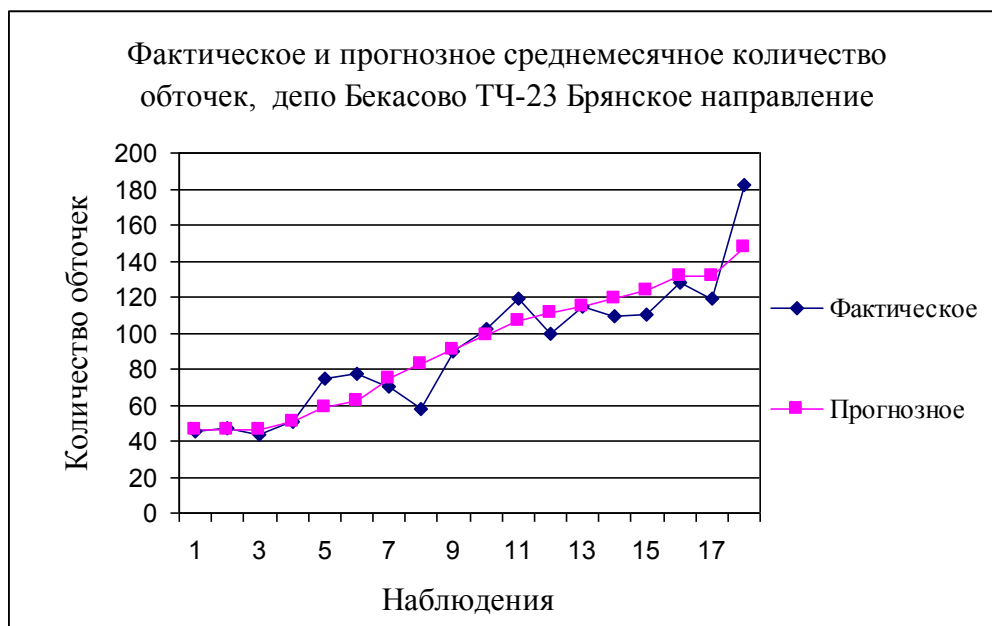


Рисунок 2.12 - Фактическое и прогнозное среднеемесячное количество обточек депо Бекасово ТЧ-23 Брянское направление

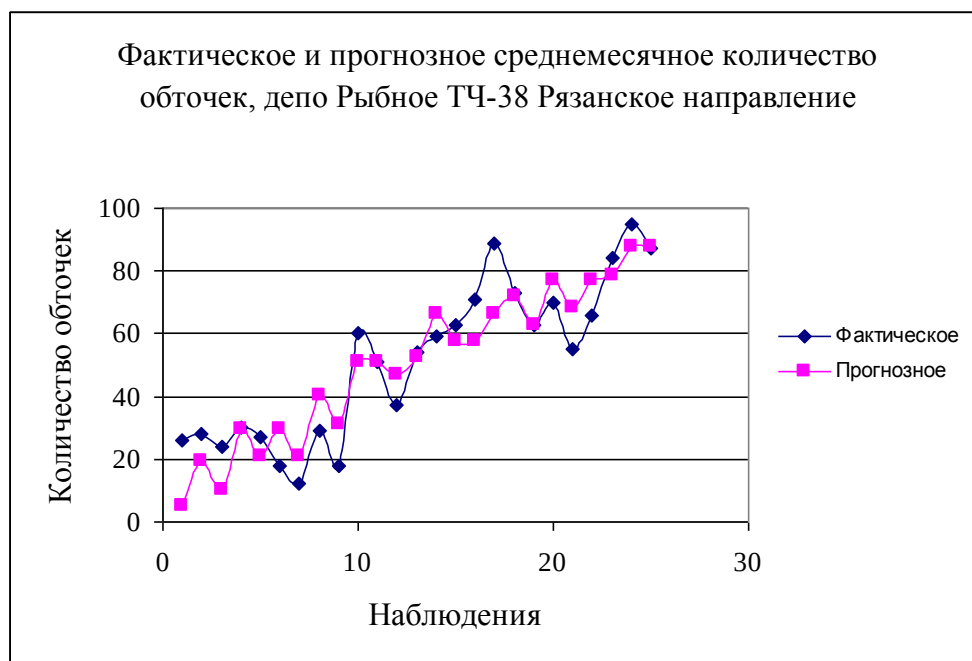


Рисунок 2.13- Фактическое и прогнозное среднеемесячное количество обточек депо Рыбное ТЧ-38 Рязанское направление

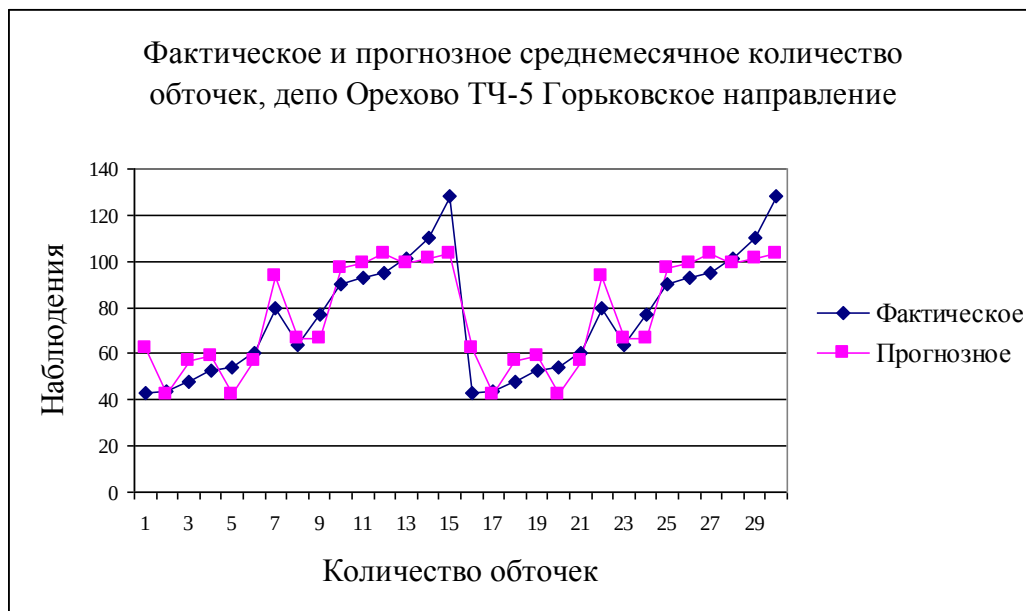


Рисунок 2.14 - Фактическое и прогнозное среднеемесячное количество
обточек депо Орехово ТЧ-5 Горьковское направление

2.3. Ранжирование эксплуатационных показателей по степени их влияния на удельное энергопотребление на тягу поездов, интенсивность износа гребней бандажей колесных пар локомотивов и количество обточек

Практическим результатом построенных многофакторных моделей является расчет коэффициентов эластичности, таблица 2.17 [81,82].

Таблица 2.17 - Сводная таблица коэффициентов эластичности показателей
многофакторных корреляционных моделей

Наименование депо	Наименование факторов	Коэффициенты эластичности влияния удельного расхода смазочного материала на:		
		удельный расход электроэнергии	интенсивность изнашивания гребней колесных пар	количество обточек
Бекасово ТЧ-23	Удельный расход смазочного материала с 7 до 10 кг (8,6 кг)	-0,140	-0,300	-
	с 10 до 13 кг (11,6 кг)	+0,113	+0,280	
	Интенсивность	-0,054	-	+1,074

	изнашивания	-0,067		
	Скорость 50,2 км/ч	-	+0,200	-
	Скорость 51,2 км/ч		+0,914	
	Вес поезда 3642 т	-	+0,726	-
	Вес поезда 3527 т		+0,738	
	Сезонность	+0,020	-	+0,206
		+0,036		

Наименование депо	Наименование факторов	Коэффициенты эластичности влияния удельного расхода смазки на:		
		удельный расход электроэнергии	интенсивность изнашивания гребней колесных пар	количество обточек
Рыбное ТЧ-38	Удельный расход смазочного материала с 2 до 5 кг (3,78 кг)	-0,158	-0,295	-
	С 5 до 8 кг (6,44 кг)	+0,130	+0,097	
	Интенсивность изнашивания	+0,161		+2,848
		-0,040		
	Скорость 48,57 км/ч	-	+0,680	-
	50,2 км/ч		+0,445	
	Вес поезда 4018 т	-	+0,363	-
	4019 т		+0,606	
	Сезонность	-0,037	-	-
		+0,005		

Наименование депо	Наименование факторов	Коэффициенты эластичности влияния удельного расхода смазочного материала на:		
		удельный расход электроэнергии	интенсивность изнашивания гребней колесных пар	количество обточек
Орехово ТЧ-5	Удельный расход смазочного материала с 5 до 8 кг (6,67 кг)	-0,164	-0,213	-
	С 8 до 11 кг (10,74 кг)	+0,198	+0,087	
	Интенсивность изнашивания	-0,039	-	+0,742
		+0,104		
	Скорость 42 км/ч	-	+0,281	-
	42.4 км/с		+0,792	

	Вес поезда 4247 т	-	+0,385	-
	3980 т		+1,807	
	Сезонность	+0,041	-	+0,179
		+0,012		

Результаты расчетов коэффициентов влияния позволяют сделать следующие выводы.

Полученные коэффициенты эластичности взаимодействующих и изучаемых факторов в системе «колесо-рельс» полностью подтверждают проявление положений теории кинетической энергии трения, что связано с изменениями коэффициентов сцепления и трения в реальных условиях эксплуатации.

Изменения величин коэффициентов эластичности влияния удельного расхода смазочного материала на удельный расход электроэнергии и интенсивность изнашивания имеют ту же динамику, что и в производственных функциях, т.е. с ростом трудности пути коэффициент эластичности влияния лубрикации на энергопотребление уменьшается, а на интенсивность изнашивания - увеличивается.

Для рассчитанной модели **«удельный расход смазочного материала - удельный расход электроэнергии на тягу поездов»** наиболее значимым является фактор применения смазочного материала. В депо Бекасово его коэффициент эластичности составил (-0,140 и +0,113), в депо Рыбное (-0,158 и +0,130) и наибольшее значение в депо Орехово (-0,164 и +0,198).

Анализ значений коэффициентов эластичности показал на связь их размеров с условиями эксплуатации локомотивов на конкретных железнодорожных участках. Просматривается определенная тенденция в их изменениях – с ростом трудности эксплуатационной работы наблюдается постепенное снижение влияния лубрикации на экономию удельного расхода электроэнергии на тягу поездов с -0,164 (депо Орехово) до -0,140 (депо Бекасово).

Анализ построенной модели позволяет сделать вывод о том, что применение смазочного материала дает наибольшую экономию электроэнергии на тягу поездов в депо с наименее трудными условиями эксплуатации (депо

Орехово). При чрезмерном использовании смазочного материала происходит неравномерный рост дополнительного расхода электроэнергии. Чем труднее путь, тем меньше размер дополнительного расхода электроэнергии. Для наименее сложного по эксплуатации участка (депо Орехово) - имеем резкий прирост, а на наиболее трудных участках (депо Бекасово) - прирост удельного расхода электроэнергии незначительный.

Использование регрессионной модели **«удельный расход смазочного материала – интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар»** и учет конкретных условий эксплуатации локомотивов на полигоне Московской железной дороги позволили сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Во всех исследуемых депо с ростом удельного расхода смазочного материала до оптимального размера наблюдается уменьшение интенсивности изнашивания. Причем, в депо Бекасово с наиболее трудными условиями эксплуатации полученный эффект наибольший.

2. В случае чрезмерного применения лубрикации рост ущерба в виде нарастания интенсивности изнашивания гребней в изучаемых депо различен. Наиболее чувствительным является депо Бекасово (с $-0,300$ на $+0,279$), в депо Рыбное и Орехово эти коэффициенты имеют следующие значения ($-0,295$ и $+0,097$) и ($-0,213$ $+0,087$) соответственно.

3. При оценке влияния изменений веса поезда и скорости его движения отмечаем следующие закономерности:

- с ростом этих показателей удельный расход вносимого смазочного материала во всех депо уменьшается, причиной является технологические особенности ведения грузовым поездом в сложных условиях. Излишняя смазка снижает коэффициент сцепления и возникает необходимость дополнительного расхода электроэнергии из-за пробуксовывания [45].

- при недостаточном или умеренном внесении смазочного материала большее влияние на рост изнашивания оказывает вес поезда;

- в случае избыточного внесения - влияние факторов скорости движения и веса поезда резко возрастает и становятся доминирующими, особенно в трудных

условиях эксплуатации, что отражено через коэффициент эластичности в таблице 2.18.

Таблица 2.18 - Оценка влияния изменений веса поезда и скорости его движения на интенсивность изнашивания гребней колесных пар с учетом изменения лубрикации (удельного расхода смазочного материала)

Наименование локомотивного депо	Коэффициент эластичности интенсивности изнашивания по весу поезда	Коэффициент эластичности интенсивности изнашивания по скорости движения поезда
Бекасово ТЧ-23	+0,720	+0,197
	+0,740	+0,914
Рыбное ТЧ-38	+0,363	+0,680
	+0,606	+0,445
Орехово ТЧ-5	+0,385	+0,280
	+1,807	+0,790

- в депо Бекасово имеются следующие значения коэффициентов эластичности интенсивности изнашивания по весу с +0,720 до +0,740, а скорости движения с +0,197 до +0,914;

- в депо Рыбное, влияние фактора веса поезда резко возросло и соответственно, коэффициент эластичности увеличился с +0,363 до +0,606, при этом влияние скорости движения поездов на интенсивность изнашивания ослабло, что отразилось на уменьшении коэффициента эластичности с +0,680 до +0,445. Это объясняется увеличением пробуксовывания колесных пар, что усиливает интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотива.

Таким образом, можно сделать рекомендации: для депо с особо трудными условиями эксплуатации локомотивов необходим более тщательный мониторинг оптимального размера внесения смазочных материалов в кривых.

Для углубленного исследования этих зависимостей целесообразно проанализировать по годам ежемесячный удельный расход смазочного материала и сравнить их с оптимальными размерами. Тем самым можно выявить причины, вызвавшие чрезмерный темп изнашивания гребней бандажей колесных пар. Ряд физических моделей предложен в работах профессора Ю.М. Лужнова [79], они также позволяют объяснить полученные значения коэффициентов эластичности.

Приведенные графики и расчеты оптимальных значений удельного расхода смазочного материала, а также их сопоставление с фактическими среднемесячными величинами расхода смазочного материала в изучаемый период (2001-2004) гг. представлены на рисунках 2.12 – 2.14 и в таблице 2.19.

Таблица 2.19 - Сопоставление оптимального среднемесячного размера удельного расхода смазочного материала с его фактическими значениями по изучаемым локомотивным депо, кг/км

Наименование депо	Оптимальный размер удельного расхода смазочного материала (определен на основе однофакторной модели)		Фактический среднемесячный удельный расход смазочного материала по годам			
	по критерию $\min$ удельного расхода электроэнергии на тягу поездов - Y'	по критерию $\min$ интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов - Y''	2001	2002	2003	2004
Бекасово ТЧ-23	10,0	10,8	9,74	5,96	5,20	8,34
Рыбное ТЧ-38	6,78	5,8	6,82	7,08	6,75	3,34
Орехово ТЧ-5	8,7	8,5	15,0	7,32	0,94	4,8

Анализ показал, что во всех депо за рассматриваемые годы имеются отклонения фактического расхода смазочного материала от оптимальных норм. Так, в депо Бекасово и Орехово вносилось недостаточное количество смазочного материала, причем с 2002 по 2003 год имелось его уменьшение. Напротив, в депо Рыбное вначале фактическое чрезмерное использование лубрикации (6,82 вместо 5,8 кг/км) за 2001 – 2003 годы, а затем недостаточное - в 2004 году (3,34 вместо

5,8 кг/км), что вызвало значительное увеличение интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар. Такая ситуация в депо Рыбное проявилась в высоких значениях коэффициента эластичности в модели «интенсивность изнашивания – количество обточек» (+2,847), которая косвенно подтверждает природу взаимосвязи «износ – смазочный материал».

Анализ сформированной модели **«количество обточек – интенсивность изнашивания»** показал наличие прямой зависимости размеров лубрикации, интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар и количества их обточек. Величина коэффициента эластичности удельного расхода смазочного материала и интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар (ε_1) показывает степень влияния фактора удельного расхода смазочного материала на результат (интенсивность изнашивания). Чем ε_1 больше, тем выше коэффициент эластичности интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар и количества их обточек (ε_2). Например, в депо Бекасово $\varepsilon_1 = -0,300$ и $\varepsilon_2 = +0,280$; депо Рыбное $\varepsilon_1 = -0,295$ и $\varepsilon_2 = +0,097$; депо Орехово $\varepsilon_1 = -0,213$ и $\varepsilon_2 = +0,087$.

Изучение влияния фактора сезонности на количество обточек показало, что в депо Бекасово он оказывает наибольшее влияние. Коэффициент эластичности по сезонности для этого депо составляет +0,206, а в депо Рыбное, наоборот, сезонные колебания отсутствуют в процессе восстановления профилей гребней.

Таким образом, можно сделать вывод, что на количество обточек значительное влияние оказывает удельный расход смазочного материала, который при оптимальных значениях его применения ощутимо сокращает количество обточек, продлевая срок эксплуатации колесных пар локомотивов.

Анализируя результаты расчетов, полученных экономических эффектов от лубрикации по изучаемым локомотивным депо и базируясь на правилах энергетической теории трения, отмечаем следующее их распределение в зависимости от условий эксплуатации:

1. Для депо с наиболее благоприятными условиями эксплуатации (Орехово) преобладает экономия удельного расхода электроэнергии на тягу

поездов по сравнению с темпами интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар соответственно: -10% и -2%.

2. Для депо Бекасово с наиболее трудными условиями соотношение эффектов прямо противоположное: -5,0% удельный расход электроэнергии и – 13,1% интенсивность изнашивания.

3. Для депо со средними условиями эксплуатации (Рыбное) эффекты распределились поровну: -6,5% экономия электроэнергии и -7,0% - сокращение темпов интенсивности изнашивания.

Решенная система уравнений позволяет определить коэффициенты эластичности взаимодействия лубрикации с интенсивностью изнашивания, удельным расходом электроэнергии с учетом влияния других разнонаправленных факторов (вес поезда, скорость, сезонность) включенных в изучаемые модели.

Таким образом, можно оценить реальный экономический эффект от смазывания гребней бандажей колесных пар локомотивов на отдельных эксплуатируемых железнодорожных участках.

2.4. Формирование интегральной оценки ресурсозатратности участков железных дорог

Существует несколько факторов, играющих роль в оптимизации смазывания зоны контакта колеса с рельсом.

К ним относятся также трение и линейное перемещение (проскальзывание) колес относительно рельсов в процессе качения. Для качения колес по рельсам необходимо определенное трение (сцепление).

Трение необходимо оптимизировать по величине и направлению, оно должно быть достаточным для обеспечения эффективной тяги и торможения, но не чрезмерным, чтобы не вызывать непроизводительных потерь энергии, значительных боковых усилий, приводящих к повреждению и интенсивному износу пути и колес подвижного состава.

Фактическая величина трения зависит от степени проскальзывания и состояния поверхностей контактирующих элементов - наличия или отсутствия смазочного материала, шероховатости и т. д.

Практически всегда при контакте качения имеет место микропроскальзывание, величина которого зависит от геометрических параметров контактирующих поверхностей, приложенного к колесу вращающего момента (например, при торможении) и упругости применяемой стали [31, 76, 89, 156, 115].

Существуют три вида проскальзывания:

- продольное (в направлении качения колес);
- поперечное (перпендикулярное оси пути);
- проскальзывание вращения (боксование или юз).

Изучение процессов движения поездов в кривых показало наличие неизбежно возникающего поперечного проскальзывания колес локомотивов в кривых из-за наличия угла набегания гребня колеса на рельс, приводящего к действию поперечных сил, которые возрастают при уменьшении радиуса кривой.

Результатом воздействия поперечных сил является уплощение верхней поверхности головки внутреннего рельса из-за интенсивного воздействия с колесами со временем приводит к его волнообразному износу и к необходимости шлифования для восстановления оптимальной формы головки в плане и профиле.

В настоящее время одним из существенных факторов, способным влиять на состояние контакта колес с рельсами, является наличие или отсутствие смазочного материала. Использование должным образом триботехнического мероприятия как смазывание в системе «колесо-рельс» позволяет ощутимо повысить экономичность эксплуатационного процесса в холдинге ОАО «РЖД».

Нанесение смазочного материала на поверхность катания головки внутреннего рельса обеспечивает существенное, в 2 раза, снижение поперечных сил и, следовательно, повреждаемости пути и расхода энергии на тягу.

Для оптимизации расхода смазочного материала в процессе лубрикации колес локомотивов целесообразно учитывать физические процессы трения в

системе «колесо-рельс», зависящие от плана и профиля железнодорожного пути. Для этого рассмотрим поезд, как механическую систему, движущуюся по рельсам под действием различных сил. Такими силами являются сила тяги F_k , [9] развиваемая локомотивом, сила сопротивления движению W и тормозная сила B_m , возникающая при включении тормозов.

Под силами сопротивления подразумевают неуправляемые силы разной физической природы. Расчётным считается суммарное значение W , приведенное к ободу колеса. Его разделяют на две составляющие: основное сопротивление движению поезда W_o , дополнительное $W_{доп}$ и добавочное $W_{доб}$:

$$W = W_o + W_{доп} + W_{доб} \quad (2.8)$$

Силы основного сопротивления направлены против направления движения поезда и обусловлены трением в подшипниках подвижного состава, взаимодействием колёсных пар подвижного состава с рельсами и сопротивлением воздушной среды при отсутствии ветра. Рассчитываются силы W_o при движении поезда по прямолинейному горизонтальному пути.

Силы добавочного сопротивления $W_{доб}$ включают в себя сопротивление от ветра, сопротивление при движении в тоннелях и сопротивление при температурах ниже 25°C.

Силы дополнительного сопротивления $W_{доп}$ обусловлены наличием уклонов и кривых.

Дополнительное сопротивление движению поезда $W_{доп}$ является суммой сил. Сила дополнительного сопротивления от уклона W_i является составляющей силы тяжести поезда. Это активная сила. На подъёме она направлена против движения поезда, а на спуске – в сторону его движения. Удельная сила дополнительного сопротивления от подъёма, Н/кН

$$W_i = \frac{W_i}{mg} = i \quad (2.9)$$

При движении поезда на спуске $W_i = i$.

Дополнительное сопротивление движению по кривым участкам пути связано с особенностями перемещения поезда. В этом случае возникает центробежная сила, которая прижимает гребни колёс к наружному рельсу, вследствие чего увеличивается сила трения. Эту силу приводят к ободам колёсных пар и называют силой дополнительного сопротивления от кривизны пути W_r . Сила W_r увеличивается с уменьшением радиуса кривой, зависит от скорости поезда, состояния пути и т. д. Из-за сложности учёта всего многообразия факторов силу W_r рассчитывают по эмпирической формуле в зависимости от радиуса кривой R :

$$W_i = \frac{700}{R}, \text{ если длина кривой больше длины поезда - } W_r = \frac{700}{R} \times \frac{l_n}{S_{кр}} \quad (2.10)$$

В общем случае удельное дополнительное сопротивление от уклонов и кривых будет равно $W_{дон} = \pm i + W_r$.

Удельное сопротивление движению с учётом всех составляющих:

$$W = W_o = W_{дон} = W_o \pm i + W_r \quad (2.11)$$

Проведенные исследования полигонов управления тяговыми ресурсами Московской железной дороги показали, что для поверхности катания и рабочей грани головки рельса в кривых участках нужно разное количество смазочного материала РС-6 «Ву» («В») (концентрат) в зависимости от конкретных условий эксплуатации локомотивов.

Определены оптимальные удельные расходы смазочного материала, позволяющие минимизировать эксплуатационные расходы холдинга ОАО «РДЖ» по критериям энергопотребления на тягу поездов и интенсивности изнашивания бандажей колесных пар локомотивов, таблица 2.1 [114].

Рекомендуемые удельные нормы расхода смазочного материала имеют существенную разницу в величинах (от 6 кг до 10 кг). Причинами такой дифференциации являются различия в условиях эксплуатации грузовых локомотивов ВЛ-10 на конкретных полигонах тяговых ресурсов Московской железной дороги.

Данные получены из ведомостей характеристик расстройств кривых (ФПЦ-3.11). Данные по профилю, таблица 2.20.

Для повышения эффективности применения лубрикации, как одного из основных трибологических мероприятий, предлагается:

- сгруппировать локомотивные депо по критериям трудности пути, приведенным в таблице 2.21;
- по разработанному алгоритму оптимизировать для каждой группы локомотивных депо удельный расход смазочного материала в зависимости от условий эксплуатации.

Таблица 2.20 - Рекомендуемые нормы удельного расхода смазочного материала в кривых по выделенным группам
локомотивных депо Московской железной дороги

Наименование депо	Номер группы	Наименование участка	Рекомендуемые нормы расхода смазочного материала, кг/км кривых	Направления движения (прямое/обратное) по данным службы тяги МЖД	Характеристика профиля пути				Коэффициенты извилистости, доля кривых с $R \leq 650$ м на 1 км пути	Характеристика преобладающего грузового движения поездов по участку	Оптimum удельного расхода смазочного материала, кг/км по критерию min	
					подъем		спуск				удельного расхода электроэнергии на тягу поездов $e_{\min}$	интенсивность и изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов $I_{\min}$
					удельный вес	о/оо	удельный вес	о/оо				
Депо Бекасово ТЧ-23	2	Москва-Малый Ярослав ец <i>Москва ниже</i>	10-12	Порожнее/груженое	0,486	6,4	0,395	6,69	0,348	Подъем в груженом направлении	10,0	10,8
Депо Рыбное ТЧ-38	4	Москва-Рязань <i>Москва выше</i>	до 8	Груженое/груженое	0,423	2,91	0,531	2,53	0,213-0,225	Спуск в груженом направлении	6,78	5,8
Депо Орехово ТЧ-5	5	Москва-Орехово <i>Москва выше</i>	8-10	Порожнее/груженое	0,453	2,51	0,449	2,26	0,451	Подъем в порожнем направлении	8,7	8,5

Таблица 2.21 – Параметры типологизации локомотивных депо железных дорог
ОАО «РЖД»

Группы	Размеры грузового движения в прямом направлении		Преобладающие уклоны		Удельная доля кривых малого радиуса $R \leq 650\text{м}$	
	Преобладает груженое движение поездов	Преобладает порожнее движение поездов	Спуски над подъемами, о/оо	Подъемы над спусками, о/оо	до 0,4	свыше 0,4
1	+			+		+
2	+			+	+	
3	+		+			+
4	+		+		+	
5		+		+		+
6		+		+	+	
7		+	+			+
8		+	+		+	

Предложенная оценка и группировка локомотивных депо в зависимости от ресурсозатратности эксплуатации железнодорожных путей позволит повысить точность прогноза размеров бюджетов выделяемых средств на приобретение смазочных материалов, снизить размеры ущербов от чрезмерной интенсивности изнашивания колес локомотивов и перерасхода электроэнергии на тягу поездов по железным дорогам в целом. Улучшение показателей использования лубрикации окажет влияние на уровень конкурентоспособности холдинга «РЖД».

2.5. Формирование интегрального показателя эффективности системы лубрикации

Условия эксплуатации подвижного состава включают широкий спектр показателей (участки подъема, спуска, горизонтальные; наличие кривых разных радиусов; режим использования этих участков в груженом и порожнем состоянии (движении) подвижного состава; климатические условия).

Предложена интегрированная оценка ресурсозатратности участка через коэффициент ресурсозатратности пути $K_{p/z}$ [39].

Климатические условия эксплуатации могут быть оценены введением коэффициента климата на основе климатической карты, учитывающей влияние влажности и перепада температур на коэффициент сцепления, составленной для сети железных дорог профессором Ю.М. Лужновым [79].

В анализируемом в работе примере все три локомотивные депо находятся в одном и том же климатическом поясе, оценку которого предложено принять за единицу, $K_{кл} = 1$.

Движение поезда и работу сил тяги по горизонтальному участку предложено учитывать с коэффициентом ресурсозатратности $K_{p/z}^{гориз.} = 1$, на пусках – с коэффициентом $K_{p/z}^{пуск.} = 0,5$, на подъемах – с коэффициентом $K_{p/z}^{подъем} = 1,5$, в кривых – с коэффициентом $K_{p/z}^{кривые} = 2,0$. Эти коэффициенты в значительной степени отражают изменение энергопотребления и интенсивности изнашивания по сравнению с движением состава по горизонтальному участку. Оценка поправочных коэффициентов носит экспертный характер.

В итоге получены значения коэффициентов ресурсозатратности участков, обслуживаемых локомотивными депо Бекасово ТЧ-23, Рыбное ТЧ-38, Орехово ТЧ-5.

Энергетическую оценку потребительных свойств транспортной продукции $E_{кин} = \frac{QV^2}{2}$ соотносим с изменением интенсивности изнашивания - ΔI или удельного расхода электроэнергии Δe на единицу массы смазочного материала $C_{уд}$. Этот показатель рассматриваем как коэффициент эффективности лубрикации

$$K_{эф.лубр.}^{и/и} = \frac{\Delta I}{C_{уд} E_{кин} K_{p/z}}; \quad K_{эф.лубр.}^{э/э} = \frac{\Delta e}{C_{уд} E_{кин} \times K_{p/z}} \quad (2.12)$$

где $\Delta I = I' - I''$ - изменение интенсивности изнашивания;

$\Delta e = e' - e''$ - изменение удельного расхода электроэнергии;

$C_{уд}$ - удельный расход смазочных материалов, кг/км;

$K_{p/z}$ - коэффициент ресурсозатратности пути.

Полученные значения $K_{эф.лубр.}$ были проанализированы как функция коэффициента ресурсозатратности пути и эксплуатационных показателей, которые отражены через Q - средний вес поезда и V - среднюю участковую скорость, т.е. через $E_{кин}$. В качестве аргумента введен интегральный эксплуатационный коэффициент $K_{интегр}$

$$K_{интегр} = E_{кин} K_{p/z} \quad (2.13)$$

Расчет коэффициента ресурсозатратности пути по профилю и плану представлен в таблицах 2.22, 2.23.

Расчет коэффициента эффективности лубрикации по критерию интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов и удельного расхода электроэнергии на тягу поездов представлен в таблицах 2.24 и 2.25. Графически зависимость коэффициента эффективности лубрикации по интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов и удельному расходу электроэнергии от интегрального эксплуатационного показателя представлена на рисунках 2.15, 2.16.

Таблица 2.22 – Расчет коэффициента ресурсозатратности пути участков в кривых по профилю и плану

Наименование депо	Наименование участка	Характеристика кривых участков								
		<i>Профиль пути</i>								
		Протяженность участков, м			Общая величина уклонов, ‰		Коэффициент ресурсозатратности по			Приведенная длина, м $L_{проед}$
		Горизонтальный, L_1	Подъем, L_2	Спуск, L_2	Подъем, $\sum U_{подъем}$	Спуск, $\sum U_{спуск}$	горизонтальному участку, $K_{гориз. p/z}$	подъем у, $K_{подъем p/z}$	спуску, $K_{спуск. p/z}$	
Бекасово ТЧ-23	Москва- Малый Ярославец	14571	59733	48585	934,24	812,32	1,0	1,5	0,5	118012,10
Рыбное ТЧ-38	Москва-Рязань-Рыбное	5985	55754	69913	346,10	310,77	1,0	1,5	0,5	45792,94
Орехово ТЧ-5	Москва-Петушки	11210	52055	51580	382,80	291,72	1,0	1,5	0,5	48623,44

Таблица 2.23 – Расчет коэффициента ресурсозатратности пути участков в кривых по профилю и плану пути

Наименование депо	Наименование участка	Характеристика кривых участков						Протяженность участка, м $L_{уч}$	Коэффициент ресурсозатратности пути, $K_{p/z}$
		<i>План пути</i>			<i>Приведенная длина, м</i>				
		Кривизна пути = Длина круговой кривой *угол поворота, градус	Протяженность участков, м L_4	Коэффициент ресурсозатратности в кривых $K_{p/z}^{кривые}$	По профилю, $L_{привед}^{проф}$	По плану, $L_{привед}^{план}$	Всего, $L_{уч}^{привед}$		
Бекасово ТЧ-23	Москва- Малый Ярославец	798225,30	4434,60	2	118012,10	8869,20	126881,30	123000,00	1,031
Рыбное ТЧ-38	Москва-Рязань-Рыбное	3653971,00	20299,80	2	45792,94	40599,60	86392,54	108000,00	0,792
Орехово ТЧ-5	Москва-Петушки	3097676,00	17209,30	2	48623,44	34418,60	83042,04	107000,00	0,774

Протяженность участков в кривых в плане определена по формуле:

$$L_4 = \frac{\text{Длина круговой кривой} * \text{угол поворота}}{180} \quad (2.14)$$

Приведенная длина участка определена по формуле:

$$L_{\text{уч.}}^{\text{привед.}} = L_{\text{привед}}^{\text{проф}} + L_{\text{привед}}^{\text{план}} \quad (2.15)$$

где
$$L_{\text{привед}}^{\text{проф}} = K_{p/z}^{\text{гориз.}} L_1 + K_{p/z}^{\text{подъем}} * \sum Y_{\text{подъем}} * L_2 + K_{p/z}^{\text{спуск.}} * \sum Y_{\text{спуск}} * L_3$$

$$L_{\text{привед}}^{\text{план}} = K_{p/z}^{\text{кривые}} * L_4$$

$K_{p/z}^{\text{гориз.}}$, $K_{p/z}^{\text{подъем}}$, $K_{p/z}^{\text{спуск}}$, $K_{p/z}^{\text{кривые}}$ - коэффициенты ресурсозатратности по горизонтальному пути, по подъему, по спуску, в кривых, соответственно;

$\sum Y_{\text{подъем}}$; $\sum Y_{\text{спуск}}$ - общая величина уклонов.

Коэффициент ресурсозатратности пути определен по формуле:

$$K_{p/z} = \frac{L_{\text{уч}}^{\text{привед}}}{L_{\text{уч}}} \quad (2.16)$$

Таблица 2.24 – Расчет коэффициента эффективности лубрикации по критерию интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов

Наименование депо	Вес поезда, т, Q	Скорость движения поезда, км/ч, V	Оптимальный размер удельного расхода смазочного материала $C'_{опт.}$, кг/км	Интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов мм/10 тыс. лок-км, I		Удельное значение интенсивности изнашивания мм/1 кг смазочного материала $\mathcal{E}_{лубр.}^{u/u} = \frac{\Delta I}{C'_{опт.}}$ $\Delta I = I^1 - I''$	Энергетическая оценка потребительных свойств транспортной продукции $E_{кин}$, млн. Дж	Коэффициент ресурсозатратности пути, $K_{p/z}$	Интегральный эксплуатационный коэффициент $K_{интегр.}$	Коэффициент эффективности лубрикации $K_{эф.лубр.}^{u/u}$
				без лубрикации I^1	с применением лубрикации I''					
Бекасово ТЧ-23	3600	55	10,8	0,55	0,25	0,3/10=0,030	5,45	1,031	5,61	0,0049
Рыбное ТЧ-38	4000	50	5,8	0,33	0,24	0,09/5,8=0,015	5,00	0,792	3,96	0,0039
Орехово ТЧ-5	4200	44	8,5	0,35	0,25	0,10/8,5=0,012	4,07	0,774	3,15	0,0037

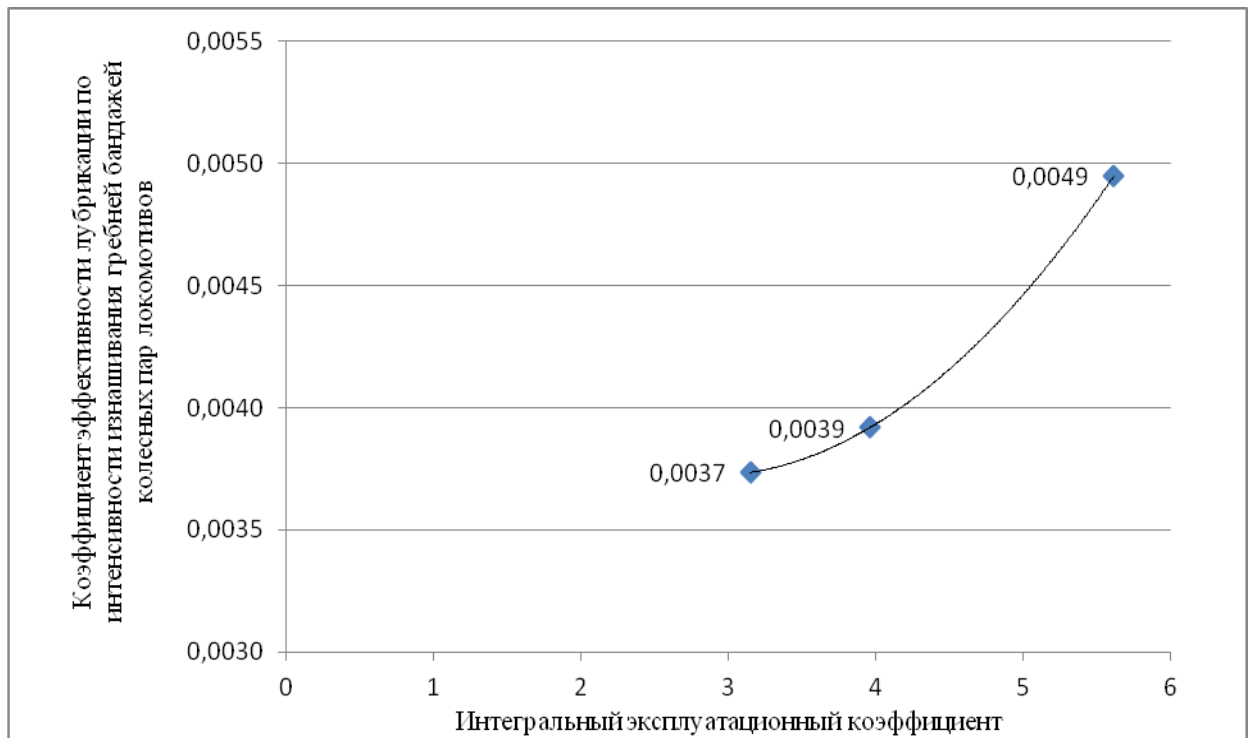


Рисунок 2.15 - Зависимость коэффициента эффективности лубрикации по интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов от интегрального эксплуатационного показателя

Таблица 2.25 – Расчет коэффициента эффективности лубрикации по критерию удельного расхода электроэнергии на тягу поездов

Наименование депо	Вес поезда, т, Q	Скорость движения поезда, км/ч, V	Оптимальный размер удельного расхода смазочного материала по критерию $\min$ удельного расхода электроэнергии $C''_{\text{опт.}}$, кг/км	Удельный расход электроэнергии на тягу поездов, кВт ч / 10 тыс. ткм брутто, e		Удельное значение удельного расхода электроэнергии на тягу поездов, мм/ 1 кг смазки $\mathcal{E}_{\text{л.бр.}}^{u/u} = \frac{\Delta e}{C''_{\text{опт.}}}$ $\Delta e = e^1 - e''$	Энергетическая оценка потребительных свойств транспортной продукции, $E_{\text{кин}}$, млн. Дж	Коэффициент ресурсозатратности и пути, $K_{p/z}$	Интегральный эксплуатационный коэффициент $K_{\text{интегр.}}$	Коэффициент эффективности лубрикации, $K_{\text{эф.л.бр.}}^{э/э}$
				без лубрикации e^1	с применением лубрикации e''					
Бекасово ТЧ-23	3600	55	10,0	107,0	102,0	5,0/10=0,50	5,45	1,031	5,61	0,0890
Рыбное ТЧ-38	4000	50	6,78	102,0	90,0	12,0/6,78=1,77	5	0,792	3,96	0,4470
Орехово ТЧ-5	4200	44	8,70	101,0	83,0	18,0/8,7=2,10	4,07	0,774	3,15	0,6568

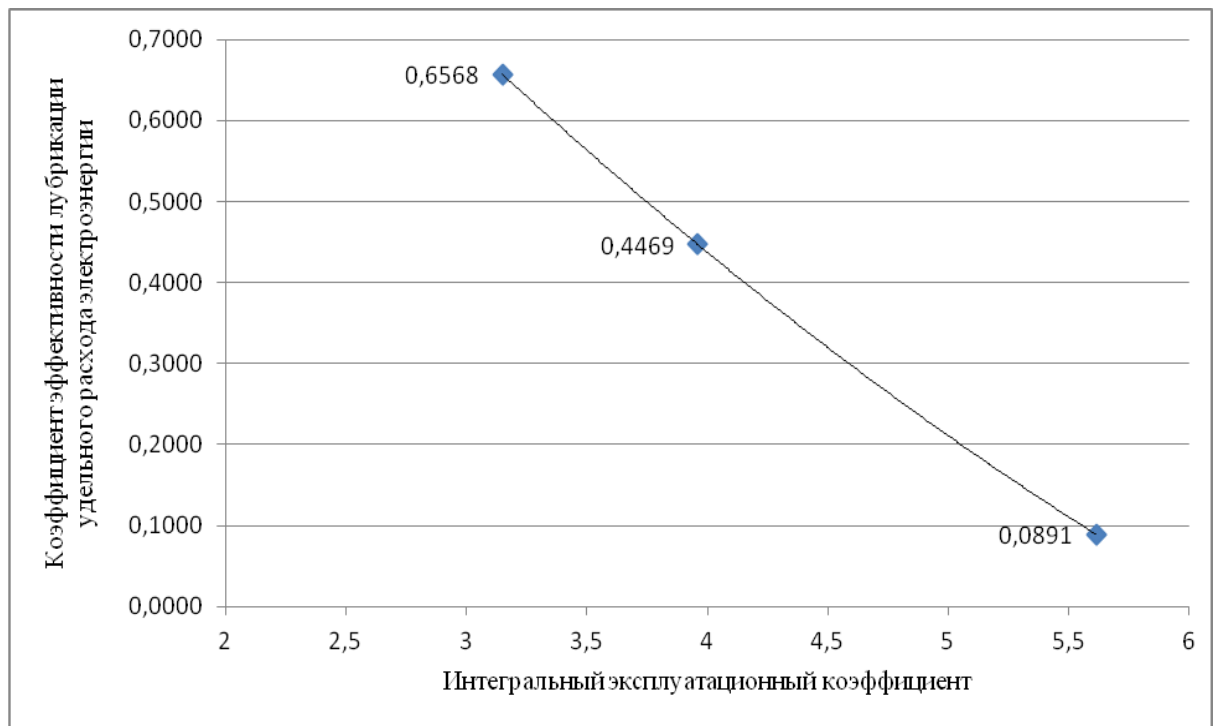


Рисунок 2.16 - Зависимость коэффициента эффективности лубрикации по удельному расходу электроэнергии на тягу поездов от интегрального эксплуатационного показателя

Полученные функции, характеризующие систему лубрикации разнонаправлены в зависимости от роста ресурсозатратности пути. С ростом ресурсозатратности пути интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов увеличивается, а экономия удельного расхода электроэнергии на тягу поездов – снижается [40].

Сформирована нормированная граница между областью эффективного и неэффективного использования лубрикации на основе предельного значения эффекта от применения лубрикации равного нулю. Сопоставление интегрального эксплуатационного коэффициента и коэффициентов эффективности лубрикации позволяет оценить эксплуатационные показатели, обеспечивающие при существующей ресурсозатратности участка железной дороги эффективное применение лубрикации.

Полученная экспериментально зависимость позволила предположить, что она является квадратичной функцией $K_{\text{интегр}}$:

$$K_{\text{эф.лубр.}} = a_0 + a_1 K_{\text{интегр}}^2 \quad (2.17)$$

Для анализа эффективности влияния лубрикации на износ на основе экспериментальных данных для одного из депо были оценены коэффициенты a_0 и a_1 , а затем на их основе рассчитаны показатели для других депо и сопоставлены с полученными для других депо на основе эксперимента.

$$a_0 = 0,126 \cdot 10^{-3} \quad a_1 = 1,353 \cdot 10^{-3} \quad (2.18)$$

В итоге коэффициент эффективности лубрикации по влиянию на износ имеет вид:

$$K_{\text{эф.лубр.}}^{u/u} = 0,126 \cdot 10^{-3} + 1,353 \cdot 10^{-3} * K_{\text{интегр}}^2 \quad (2.19)$$

Погрешность составила 15%.

Аналогично рассчитаны параметры зависимости эффективности лубрикации в отношении снижения энергопотребления.

В таблице 2.26 представлены рассчитанные весовые коэффициенты a_0 и a_1 для определения коэффициента эффективности лубрикации по разным критериям эффективности.

Таблица 2.26- Результаты расчета весовых коэффициентов a_0 и a_1

Критерии эффективности лубрикации	Весовые коэффициенты	
	a_0	a_1
По min интенсивности изнашивания	0,003016	0,000065
По min удельного расхода электроэнергии	0,760588	-0,022608

Выявленные закономерности позволяют предложить алгоритм методики оценки эффективности лубрикации, который может быть использован для

решения прямой и обратной задачи, т.е. для выявления условий эффективного использования лубрикации.

Выводы по главе 2

1. Выявлено наличие оптимального расхода смазочных материалов при лубрикации гребней бандажей колесных пар локомотивов по критерию минимума их износа и по критерию минимума удельного электропотребления на тягу поездов. Удельный расход смазочных материалов по критериям разный. На основе значимости каждого из заданий по ресурсосбережению может быть оценено значение рационального расхода смазочных материалов.

2. Анализ условий эффективного использования лубрикации для снижения потерь в системе «колесо-рельс» позволил сформировать алгоритм построения моделей «удельное энергопотребление – расход смазочного материала» и «интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов – расход смазочного материала» при различных эксплуатационных показателях.

3. Полученные коэффициенты эластичности, отражающие влияние удельного расхода смазочного материала на интенсивность изнашивания гребней колесных пар и удельный расход электроэнергии, позволяют определить уровень эффективного применения лубрикации на конкретных участках железнодорожных направлений и в зависимости от изменения показателей эксплуатационной работы (веса поезда, участковой скорости движения поездов, сезонности).

4. Разработана и обоснована структура коэффициента эффективности лубрикации и применения интегрального коэффициента, учитывающего ресурсозатратность пути и условия эксплуатации. Определен характер взаимосвязи между ними и удельным энергопотреблением и износом. Модели позволяют обобщить результаты анализа и использовать их для любых условий эксплуатации, что важно для формирования методики оценки эффективности системы лубрикации и определения условий ее рационального использования.

5. Сформирована базовая модель оценки условий эффективного применения лубрикации, которая позволяет выявить целесообразность применения системы лубрикации для выполнения комплексного задания в соответствии с показателями стратегического плана компании.

6. Приведены алгоритм и модель, которые позволяют решить обратную задачу – сформировать требования по коэффициенту эффективности при заданных условиях эксплуатации на участках железных дорог.

При использовании отдельных уравнений регрессии, например для экономических расчетов, в большинстве случаев предполагается, что аргументы (факторы) можно изменять независимо друг от друга. Однако это предположение является очень грубым: практически изменение одной переменной, как правило, не может происходить при абсолютной неизменности других. Ее изменение повлечет за собой изменения во всей системе взаимосвязанных признаков. Следовательно, отдельно взятое уравнение множественной регрессии не может характеризовать истинные влияния отдельных признаков на вариацию результирующей переменной. Именно поэтому в экономических исследованиях важное место заняла проблема описания структуры связей между переменными системы так называемых одновременных уравнений, называемых также структурными уравнениями [7].

Если зависимая переменная Y одного уравнения выступает в виде фактора X в другом уравнении, то исследователь может строить модель в виде системы рекурсивных уравнений:

[illegible]

Структурная и приведенная формы модели

Система совместных, одновременных уравнений (или структурная форма модели) обычно содержит эндогенные и экзогенные переменные.

Эндогенные переменные – это зависимые переменные, число которых равно числу уравнений в системе и которые обозначаются через Y .

Экзогенные переменные – это предопределенные переменные, влияющие на эндогенные переменные, но не зависящие от них. Обозначаются через X .

Структурная форма модели позволяет увидеть влияние изменений любой экзогенной переменной на значения эндогенной переменной. Целесообразно в качестве экзогенных переменных выбирать такие переменные, которые могут быть объектом регулирования. Меняя их и управляя ими, можно заранее иметь целевые значения эндогенных переменных. Структурная форма модели в правой части содержит при эндогенных переменных коэффициенты b_{ik} и экзогенных переменных – коэффициенты a_{ij} , которые называются структурными коэффициентами модели. Все переменные в модели выражены в отклонениях от среднего уровня, т.е. под X подразумевается $x - \bar{x}$, а под Y – соответственно $y - \bar{y}$. Поэтому свободный член в каждом уравнении системы отсутствует.

Приведенная форма модели хотя и позволяет получить значения эндогенной переменной через значения экзогенных переменных, но аналитически она уступает структурной форме модели, так как в ней отсутствуют оценки взаимосвязи между эндогенными переменными.

При переходе от приведенной формы модели к структурной сталкиваются с проблемой идентификации.

Идентификация – это единственность соответствия между приведенной и структурной формами модели.

С позиции идентифицируемости структурные модели можно подразделить на три вида:

- идентифицируемые;
- неидентифицируемые;
- сверхидентифицируемые.

Модель сверхидентифицируема, если число приведенных коэффициентов X больше числа структурных коэффициентов Y . В этом случае на основе коэффициентов приведенной формы можно получить два или более значений одного структурного коэффициента. В этой модели число структурных коэффициентов меньше числа коэффициентов приведенной формы. Сверхидентифицируемая модель в отличие от неидентифицируемой модели практически решаема, но требует для этого специальных методов исчисления параметров.

Методы оценки параметров структурной формы модели

Коэффициенты структурной модели могут быть оценены разными способами в зависимости от вида системы одновременных уравнений. Одним из наиболее распространенных получил следующий метод оценивания коэффициентов структурной модели - двухшаговый метод наименьших квадратов (ДМНК).

Основная идея ДМНК – на основе приведенной формы модели получить для сверхидентифицируемого уравнения теоретические значения эндогенных переменных, содержащихся в правой части уравнения.

Далее, подставив их вместо фактических значений, можно применить обычный МНК к структурной форме сверхидентифицируемого уравнения. Метод получил название двухшагового МНК, ибо дважды используется МНК: на первом шаге при определении приведенной формы модели и нахождении на ее основе оценок теоретических значений эндогенной переменной

$\hat{y}_i = \delta_{i1}x_1 + \delta_{i2}x_2 + \dots + \delta_{in}x_n$ и на втором шаге применительно к структурному сверхидентифицируемому уравнению при определении структурных коэффициентов модели по данным теоретических (расчетных) значений

эндогенных переменных.

Сверхидентифицируемая структурная модель может быть двух типов:

- все уравнения системы сверхидентифицируемы;
- система содержит наряду со сверхидентифицируемыми точно идентифицируемые уравнения.

Если все уравнения системы сверхидентифицируемые, то для оценки структурных коэффициентов каждого уравнения используется ДМНК. Если в системе есть точно идентифицируемые уравнения, то структурные коэффициенты по ним находятся из системы приведенных уравнений.

Исходные данные для решения системы сверхидентифицируемых уравнений для депо Бекасово ТЧ-23, (удельный расход смазочного материала 7,00-10,00 кг) приведены в Приложении 3.

Шаг 1. Расчет приведенных уравнений

- интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов Y_1 :

$$Y_1 = 0,095711 + 0,001X_1 - 0,00888X_2 + 0,0000506X_3 \quad (3.10)$$

где Y_1 - расчетная величина интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов полученная по приведенному уравнению, мм/10 тыс. лок-км;

X_1 - участковая скорость движения поездов, км/ч;

X_2 - удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_3 - вес поезда брутто, т.

- удельного расхода электроэнергии на тягу поездов Y_2 :

$$Y_2 = 128,078 - 1,892X_1 - 22,680X_2 + 3,498X_3 \quad (3.11)$$

где Y_2 - расчетная величина интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов полученная по приведенному уравнению, мм/10 тыс. лок-км;

X_1 - удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_2 - интенсивность изнашивания гребней колес локомотивов, мм/10 тыс. ЛОК-км;

X_3 - сезонность.

Преобразуем приведенное уравнение удельного расхода электроэнергии в структурное, для этого заменим в уравнении экзогенную переменную X_2 на эндогенную переменную Y_1 .

После решения на первой стадии ДМНК приведенного уравнения получаем

$$Y_{21} = 154,951 - 1,4433X_1 + 5,7813X_3 - 172,003Y_1 \quad (3.12)$$

$$t_1 = 8,136 \quad t_2 = 1,716 \quad t_3 = 8,011 \quad t_4 = -3,549$$

где Y_{21} - расчетная величина удельного расхода электроэнергии на тягу поездов, полученная по структурному уравнению, кВт ч/10 тыс. ткм брутто;

X_1 - удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_3 - сезонность;

Коэффициент детерминации $D = 80,0\%$

F- критерий фактический = 29,62 (F критерий табличный = 3,7)

Оценка значений t – критерия показала на недостаточную величину $t_2 = 1,716 < 2$ у эндогенного фактора удельного расхода смазочного материала на результирующий показатель. Поэтому целесообразно исключить его для улучшения модели.

Шаг 2. Для второй стадии ДМНК вводим в файл данных расчетное значение эндогенных переменных

$$Y_{22} = 123,751 + 5,858X_4 - 98,083Y_1 \quad (3.13)$$

$$t = 21,387 \quad t = 7,339 \quad t = -4,335$$

где Y_{22} - удельный расход электроэнергии на тягу поездов, кВт ч/10 тыс. ткм брутто;

Y_1 - расчетная интенсивность изнашивания гребней колес локомотивов,
мм/10 тыс. лок-км;

X_4 - сезонность.

Коэффициент детерминации $D = 79\%$

F- критерий фактический = 41,38 (F критерий табличный = 2,11)

На основе приведенных оценочных величин коэффициентов полученное структурное уравнение можно отнести к сверхидентифицируемому.

Таким образом, это уравнение можно применять для прогнозирования удельного расхода электроэнергии на тягу поездов в депо Бекасово ТЧ-23.

Расчетные значения эндогенных переменных для депо Бекасово ТЧ-23 (удельный расход смазочного материала 7,00-10,00 кг) представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Расчетные значения эндогенных переменных для депо Бекасово ТЧ-23 (удельный расход смазочного материала 7,00-10,00 кг)

По приведенным уравнениям		По структурным уравнениям
Интенсивность изнашивания Y_1	Электроэнергия Y_2	Электроэнергия Y_{22}
0,235	107,473	106,481
0,235	103,874	100,623
0,235	107,473	106,481
0,233	108,615	106,719
0,233	105,016	100,861
0,233	108,615	106,719
0,236	107,695	106,460
0,236	104,096	100,602
0,236	107,695	106,460
0,247	109,049	105,421
0,249	105,450	99,299
0,249	109,049	105,157
0,249	105,242	99,299
0,249	110,690	105,227
0,249	108,910	105,227
0,249	105,311	99,369
0,252	108,910	104,906
0,252	105,311	99,048
0,254	108,688	104,678

0,235	107,473	106,481
0,235	103,874	100,623
0,235	107,473	106,481
0,233	108,615	106,719
0,233	105,016	100,861
0,233	108,615	106,719

Расчет относительной ошибки прогноза, построенного по предлагаемому структурному уравнению (Y_{22}) без эндогенного фактора смазочного материала не превышает 5%, что подтверждается графически, рисунок 3.1.

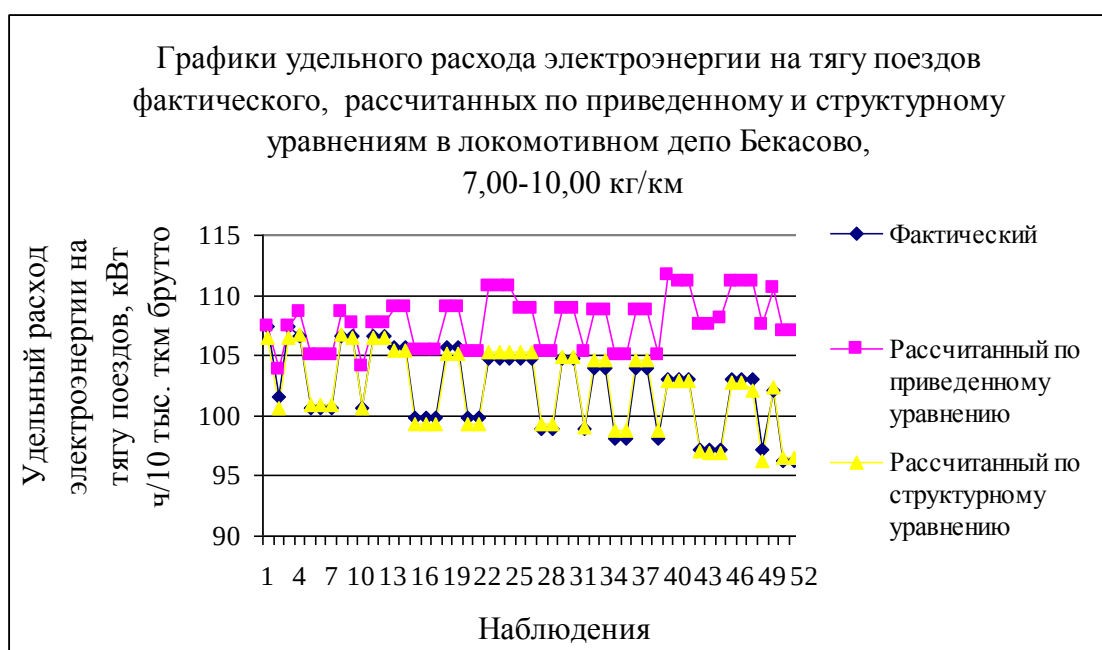


Рисунок 3.1 – Графики удельного расхода электроэнергии на тягу поездов фактического, рассчитанных по приведенному и структурному уравнениям в локомотивном депо Бекасово ТЧ-23, расход смазочного материала 7,00-10,00 кг/км

Исходные данные для решения системы сверхидентифицируемых уравнений для депо Бекасово ТЧ-23, (удельный расход смазочного материала 10,00-13,00 кг) приведены в Приложении 2.

Шаг 1. Расчет приведенных уравнений

- интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов:

$$Y_1 = -0,254332 + 0,004977x_1 + 0,006592x_2 + 0,00005714x_3 \quad (3.14)$$

где Y_1 - расчетная величина интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов полученная по приведенному уравнению, мм/10 тыс. лок-км;

X_1 - участковая скорость движения поездов, км/ч;

X_2 - удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_3 - вес поезда брутто, т.

- расчета удельного расхода электроэнергии на тягу поездов:

$$Y_2 = 88,4516 + 1,9511X_1 - 29,6296X_2 + 5,9530X_3 \quad (3.15)$$

где Y_2 - расчетная величина интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов полученная по приведенному уравнению, мм/10 тыс. лок-км;

X_1 - удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_2 - интенсивность изнашивания гребней колес локомотивов, мм/10 тыс. лок-км;

X_3 - сезонность.

Преобразуем приведенное уравнение удельного расхода электроэнергии в структурное, для этого заменим в уравнении экзогенную переменную X_2 на эндогенную переменную Y_1 .

После решения на первой стадии ДМНК приведенного уравнения получаем

$$Y_{21} = 115,8426 - 0,1475X_1 - 45,7249Y_1 + 8,2987Y_1 \quad (3.16)$$

t=35,154 t=-0,343 t=-2,05 t=11,94

где Y_{21} - расчетная величина удельного расхода электроэнергии на тягу поездов, полученная по структурному уравнению, кВт ч/10 тыс. ткм брутто;

X_1 - удельный расход смазочного материала, кг/км;

X_3 - сезонность;

Коэффициент детерминации $D = 94,0\%$

F- критерий фактический = 224,6 (F критерий табличный = 3,4)

Оценка значений t – критерия показала на недостаточную величину

$t_2 = 0,343 < 2$ у эндогенного фактора удельного расхода смазочного материала на результирующий показатель. Поэтому целесообразно исключить его для улучшения модели.

Шаг 2. Для второй стадии ДМНК вводим в файл данных расчетное значение эндогенных переменных

$$Y_{22} = 115,755 - 52,177Y_1 + 8,260X_4 \quad (3.17)$$

$$t=35,405 \quad t=-4,359 \quad t=12,095$$

где Y_{22} - удельный расход электроэнергии на тягу поездов, кВт ч/10 тыс. ткм брутто;

Y_1 - расчетная интенсивность изнашивания гребней колес локомотивов, мм/10 тыс. лок-км;

X_4 - сезонность.

Коэффициент детерминации $D = 93,7\%$

F- критерий = 340,06 (F критерий табл. = 1,7)

Таким образом, это уравнение можно применять для прогнозирования удельного расхода электроэнергии на тягу поездов в депо Бекасово ТЧ-23.

Расчетные значения эндогенных переменных для депо Бекасово ТЧ-23 (удельный расход смазочного материала 10,00-13,00 кг) представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Расчетные значения эндогенных переменных для локомотивного депо Бекасово ТЧ-23 (удельный расход смазочного материала 10,00-13,00 кг)

По приведенным уравнениям		По структурным уравнениям
Интенсивность	Электроэнергия	Электроэнергия

изнашивания Y_1	Y_{21}	Y_{22}
0,220	114,038	112,667
0,222	114,530	112,445
0,222	114,038	112,445
0,225	114,530	112,213
0,225	114,038	112,213
0,225	114,530	112,213
0,225	114,038	112,213
0,225	114,530	112,213
0,232	108,004	111,917
0,232	108,004	111,917
0,232	108,004	111,917
0,232	108,004	111,917
0,240	102,764	103,252
0,241	102,764	103,269
0,245	102,764	103,040

Расчет относительной ошибки прогноза, построенного по предлагаемому структурному уравнению (Y_{22}) без эндогенного фактора смазочного материала не превышает 5%, что подтверждается графически, рисунок 3.2.

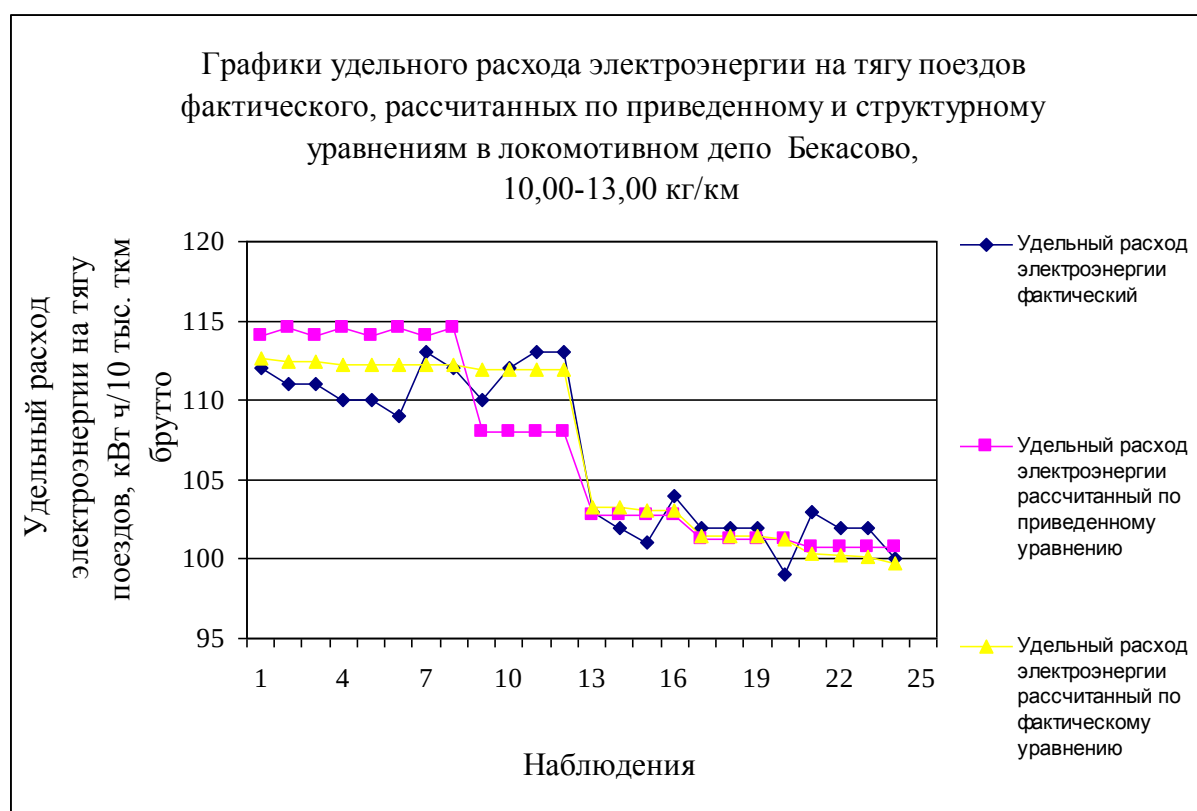


Рисунок 3.2 – Графики удельного расхода электроэнергии на тягу поездов фактического, рассчитанных по приведенному и структурному уравнениям в

локомотивном депо Бекасово ТЧ-23, расход смазочного материала 10,00-13,00
кг/км

Расчет прогноза удельного расхода электроэнергии по структурному уравнению Y_{21} с применением смазочного материала не значительно ухудшает прогноз (относительная ошибка до 7%), что свидетельствует об опосредованном влиянии лубрикации на результирующий показатель, т.е. лубрикация эффективна при соразмерном соотношении экзогенных и эндогенных факторов, формирующих наилучшие условия ее применения в зависимости от ресурсозатратности эксплуатационной работы на железнодорожном участке.

Аналогичные расчеты были проведены по депо Рыбное ТЧ-38 и Орехово ТЧ-5, результаты расчетов представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Сводная таблица структурных уравнений удельного расхода электроэнергии на тягу поездов и интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов по изучаемым депо Московской железной дороги

Локомотивное депо	Удельный расход смазочного материала, кг/км	Уравнение
Бекасово ТЧ-23	с 7,0 до 10,0	$Y_x = 128,0779 - 1,89178x_1 - 22,6798x_2 + 3,4983x_3$
		$Y_{22} = 123,751 - 98,083Y_1 + 5,858X_4$
	с 10,0 до 13,0	$Y_x = 88,4516 + 1,9511x_1 - 29,6296x_2 + 5,9530x_3$
		$Y_{22} = 115,755 - 52,177Y_1 + 8,260X_4$
Рыбное ТЧ-38	с 2,0 до 5,0	$Y_x = 120,3086 - 1,6798x_1 - 56,26x_2 + 7,5082x_3$
		$Y_{22} = 134,7776 - 121,901Y_1 + 6,44836X_4$
	с 5,0 до 10,0	$Y = 96,4818 + 1,4027x_1 - 15,4184x_2 + 0,8659x_3$
		$Y_{22} = 124,0183 - 102,466Y_1 + 5,3244X_4$
Орехово ТЧ-5	с 5,0 до 8,0	$Y_x = 113,0464 - 2,3329x_1 - 15,8051x_2 + 5,5875x_3$
		$Y_{22} = 135,6293 - 132,161Y_1 + 12,799X_4$
	с 8,0 до 11,0	$Y_x = 69,3197 + 1,5801x_1 + 45,3685x_2 + 2,5582x_3$
		$Y_{22} = 105,4428 - 28,4992Y_1 + 2,857052X_4$

Практическое применение структурных уравнений выражается в расчете коэффициентов эластичности влияния интенсивности изнашивания на удельное энергопотребление, таблица 3.4.

Таблица 3.4. - Сводная таблица коэффициентов эластичности

Локомотивное депо	Удельный расход смазки, кг/км	Коэффициент эластичности влияния энергопотребления на тягу поездов по интенсивности изнашивания гребней колесных пар локомотивов	
		Приведенное уравнение	Структурное уравнение
Бекасово ТЧ-23	с 7,0 до 10,0	-0,054	-0,356
	с 10,0 до 13,0	-0,067	-0,259
Рыбное ТЧ-38	с 2,0 до 5,0	+0,161	-0,846
	с 5,0 до 10,0	-0,040	-0,347
Орехово ТЧ-5	с 5,0 до 8,0	-0,039	-0,224
	с 8,0 до 11,0	+0,104	-0,187

Как видно из таблицы 3.4, определяющим фактором удельного энергопотребления по предлагаемой структурной модели является интенсивность изнашивания гребней бандажей.

При увеличении удельного расхода смазочных материалов влияние интенсивности изнашивания на удельное энергопотребление уменьшается, т.к. рост этого фактора при увеличении смазочного материала также замедляется, например, в депо Рыбное: -0,846 до -0,347.

Полученные по структурным уравнениям обратные зависимости между интенсивностью изнашивания гребней бандажей колес локомотивов и удельным энергопотреблением на тягу поездов объясняются различными единицами их приведения: интенсивность – на 10 тыс. лок- км пробега, а удельное энергопотребление – на 10 тыс. ткм брутто перевозимых грузов. Следовательно, при повышении весовых характеристик поездов уменьшается потребный парк локомотивов для выполнения одного и того объема перевозочной работы, что снижает удельное потребление электроэнергии на

перевозочную работу и увеличивает удельную интенсивность изнашивания гребней колесных пар локомотивов.

Поэтому предлагается итоговая модель влияния лубрикации на рассматриваемые экономические эффекты эксплуатационной работы железнодорожных участков: на энергопотребление на тягу поездов и интенсивность изнашивания гребней колесных пар, рисунок 3.3.

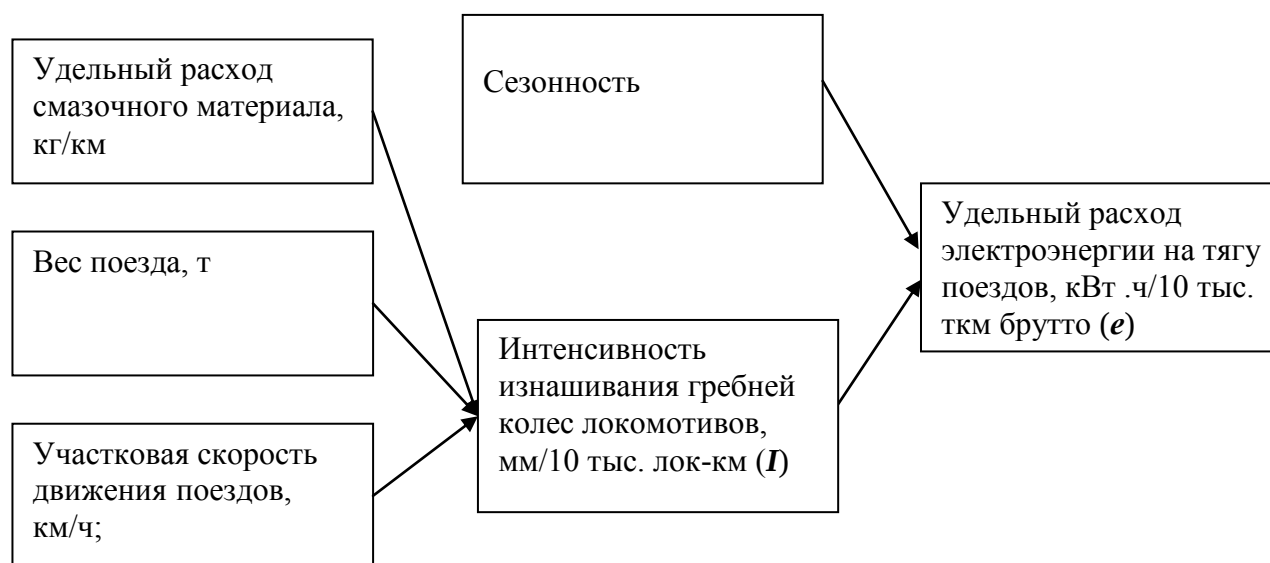


Рисунок 3.3 – Алгоритм расчета итоговой модели влияния лубрикации на рассматриваемые экономические эффекты эксплуатационной работы железнодорожных участков: энергопотребление на тягу поездов и интенсивность изнашивания гребней колесных пар

3.2. Выявление факторов, определяющих жизненный цикл системы лубрикации

Диалектика развития определяет, что любая экономическая система зарождается, развивается, достигает, ослабевает и прекращает свое существование, либо переходит на новую ступень развития. Руководитель должен знать, на какой ступени развития находится его организация (на каком технико-организационном уровне), чтобы прогнозировать дальнейшее ее

развитие и реализовывать управление в соответствии с целевой функцией и ограничениями [8, 47].

В соответствии с инновационной программой развития ОАО «РЖД» до 2015 года рассмотрены методические подходы к разработке механизма управления ресурсосберегающими технологиями как фактора конкурентоспособности.

Именно поэтому широко распространено понятие «жизненный цикл системы» как предсказуемое изменение состояний с определенной последовательностью циклов развития. Концепция жизненного цикла систем отражает действие законов циклического развития и убывающей эффективности при эволюционном развитии систем. Если предметной областью в анализе рассматривается производственная деятельность, то в качестве системы следует анализировать технологические системы, в частности, систему смазки [99, 145, 147].

Понятие "жизненный цикл", равно то, как он описывается, вызывает множество вопросов - как и любое другое важное понятие, в конечном итоге по-разному определяющееся разными заинтересованными сторонами в силу особенностей их деятельности, при этом необходимо использовать понятие международного стандарта ISO 15288:2008 (определения): Жизненный цикл – Эволюция системы, продукции, услуги, проекта или иного рукотворного объекта от замысла до прекращения использования [2].

В частности, жизненный цикл технологии описывает динамику спроса на товары и услуги, которые производятся на базе определенной технологии.

Технологию нельзя рассматривать в отрыве хотя бы от одного из основных элементов производства транспортных услуг. Научный и технический прогресс носит динамический характер, в том числе в применении триботехнических мероприятий, постоянно появляются новые материалы, изделия, конструкции, машины, совершенствуется малая механизация. Следовательно, претерпевают изменения и трибологические технологии.

Трибологические технологии следует рассматривать как сложную технологическую систему, которая имеет свой жизненный цикл - период от начала появления до целесообразности ее дальнейшего использования. Жизненный цикл технологий включает в себя следующие основные этапы: технико-экономическое обоснование на создание, разработку, освоение и использование.

Динамика развития трибологических технологий может быть представлена в виде гармонической системы, имеющей различные периоды циклов, определяемых уровнем экономической эффективности. В то же время процесс совершенствования технологий носит циклический характер и зависит от развития технического уровня материальных ресурсов, научных достижений в области материаловедения, конструкций и степени механизации процессов.

Как правило, новые технологии не появляются самостоятельно, а являются продуктом комплексного использования научных достижений на данном отрезке времени.

При этом период развития и использования конкретного вида трибологических технологий зависит от уровня экономической эффективности. Как правило, увеличение жизненного цикла технологий достигается при непрерывном повышении ее эффективности.

Значительная роль при этом отводится научным исследованиям. Увеличение объема комплексных разработок, как правило, приводит к повышению конкурентоспособности и экономической эффективности.

Жизненный цикл трибологических технологий до недавнего времени составлял более 25 лет. С переходом на рыночные отношения в экономике наметилась тенденция к его сокращению, а технологии отдельных трибологических мероприятий стали меняться через 3-5 лет. Одна из причин - конкуренция на рынке трибологических технологий.

Конкурентоспособность трибологических технологий - способность противостоять на рынке другим технологиям по уменьшению процессов изнашивания в системе «колесо-рельс», отвечать требованиям рыночных

отношений, а также обладать совокупностью характеристик, в которых отражаются преимущества данной технологии от технологий конкурента [83, 106, 117].

Главные из них: качество и стоимость применяемой трибологической технологии: затраты (издержки производства) и получаемая прибыль. Смена технологий - процесс постоянный. Как правило, каждая железная дорога ОАО «РЖД» характеризуется особыми условиями реализации технологии трибологических мероприятий и поддержания их. Основой поддержания технологии на обеспечивающем конкурентоспособность уровне являются инновации - результаты применения достижений науки и техники.

Разработка и внедрение новых трибологических технологий сопряжены со значительными инвестициями, окупаемость которых в приемлемые сроки является одной из приоритетных задач для компании ОАО «РЖД».

В связи с этим вопросы увеличения продолжительности жизненного цикла высокотехнологичной продукции (ВП) на основе трибологических мероприятий в условиях рыночной конкуренции и высокой динамики среды являются весьма актуальными.

Для управления жизненным циклом применяемых трибологических мероприятий необходимо исследовать доминирующие признаки, влияющие на продолжительность каждой стадии их жизненного цикла (ЖЦ).

На каждом этапе жизненного цикла, компания должна оптимизировать доходы и прибыль за счет поиска правильного соотношения между различными методами управления жизненными циклами используемых технологий.

Для многих компаний разработка новых технологий сопряжена со значительными затратами времени и денежных средств. Чтобы внедрить свой товар на рынок, им приходится преодолевать множество препятствий, но это далеко не всегда ведет к утверждению на рынке. Всегда есть вероятность резкого падения спроса и объема продаж вследствие непредвиденных изменений в сфере технологий.

Частая смена техники и технологии создает большие сложности и нестабильность производства. В период перехода на новую технику и освоения новых технологических процессов снижаются показатели эффективности всех подразделений предприятия. Вот почему инновациям в области технологических процессов и орудий труда должны сопутствовать новые формы организации и управления, пооперационный, попроцессорный и подетальный расчет экономической эффективности.

Жизнециклическая концепция инноваций играет важную роль в определении как максимального объема выпуска, объема продаж и прибыли, так и продолжительности цикла жизни конкретного новшества.

Эффективность смазочной системы зависит от ее конструктивного совершенства и качества смазочного материала. Пока нет четких рекомендаций по дозировке и длительности подачи смазочных материалов в конкретные узлы трения машин. Для значительного повышения технического уровня и качества машин, их экономичности и надежности необходимо решить проблему смазывания. Это может быть обеспечено за счет повышения технического уровня и качества смазочного оборудования, его унификации и стандартизации, за счет конструктивного совершенства узлов трения машин, разработки и применения новых эффективных технологических процессов обработки трущихся деталей и других методик.

При разработке стратегии фирма должна определить, на какой стадии развития находятся спрос, технология, существуют ли новые технологии, на какой стадии рыночного цикла находится товар. Затем фирма должна принять стратегическое решение о дальнейшем развитии бизнеса в данной сфере.

Анализ использования лубрикации на ряде железных дорог ОАО «РЖД» за период 2000-2012 гг. показал, что имеется устойчивая тенденция к увеличению экономической эффективности за счет снижения расходов [109]:

- в локомотивном хозяйстве от снижения:
 - количества обточек колесных пар локомотивов по тонкому гребню (3%);

- смен колесно-моторных блоков (КМБ) и бандажей колесных пар электровазов по предельному износу бандаж (20%);

- времени на постановку и уборку локомотивов для обточки колесных пар, смены КМБ, простоя локомотивов при обточке колесных пар и смене КМБ (6%);

- в путевом хозяйстве от сокращения:

- смен рельсов по боковому износу (59%);

- перекладки рельсов со сменой рабочего канта (3%);

- смен остряков и рамных рельсов по боковому износу (ремонтных комплектов) (9%).

Применение системы лубрикации приводит к дополнительным затратам на разработку, изготовление, закупку средств лубрикации, которые по оценкам экспертов составляют [109]:

- затраты на оборудование и эксплуатацию электровазов – рельсосмазывателей 65%;

- затраты на оборудование и эксплуатацию вагонов – рельсосмазывателей (17%);

- затраты на приобретение рельсовой смазки для передвижных рельсосмазывателей, лубрикаторов, АГС и стержней СС-1 (15%);

- затраты на установку и содержание станционных лубрикаторов (2%);

- затраты на изготовление, монтаж и обслуживание гребневых стержневых гребнесмазывателей (1%).

Анализ динамики изменения показателей, характеризующих экономическую и ресурсную эффективности применения лубрикации (интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов, удельный расход электроэнергии на тягу поездов, количество обточек) в изучаемых депо Московской железной дороги показал следующие результаты, таблица 3.5.

Таблица 3.5 - Анализ динамики изменения показателей характеризующих экономическую и ресурсную эффективность применения лубрикации (интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов, удельный расход электроэнергии на тягу поездов, количество обточек)

Депо Бекасово ТЧ-23 Брянское направление

Эксплуатационные показатели	Прогнозируемая величина интенсивности изнашивания при следующем удельном расходе смазочного материала, мм/10 ⁴ лок-км			Изменение интенсивности изнашивания при увеличении смазочного материала, %	
	6 кг/км	9,6 кг/км	13 кг/км	с 6,0 до 9,6 кг/км	с 9,6 до 13 кг/км
Q=3400 т V=47 км/ч	0,262	0,230	0,260	-12,21	+11,53
Q=3600 т V=50 км/ч	0,275	0,243	0,286	-11,64	+17,70
Q=3800 т V=55 км/ч	0,290	0,258	0,322	-11,00	+24,81

Показатели эксплуатационной работы	Климатические условия эксплуатации (сезонность)	Прогнозируемая величина удельного расхода электроэнергии при следующем удельном расходе смазочного материала, кВт ч/10 ⁴ ткм			Изменение удельного расхода электроэнергии при увеличении смазочного материала, %	
		6,0 кг/км	9,6 кг/км	13,0 кг/км	с 6 до 9,6 кг/км	с 9,6 до 13 кг/км
Q=3400 т V=47 км/ч	«Влажный» период	114,3	108,0	112,1	-5,54	+3,82
	«Сухой» период	110,8	104,5	106,1	-5,72	+1,60
Q=3600 т V=50 км/ч	«Влажный» период	112,1	107,9	111,3	-3,76	+3,14
	«Сухой» период	108,6	104,4	105,3	-3,88	+0,90
Q=3800 т V=55 км/ч	«Влажный» период	113,6	107,6	110,2	-5,35	+2,48
	«Сухой» период	110,1	104,1	104,3	-5,52	+0,20

Показатели эксплуатационной работы	Климатические условия эксплуатации (сезонность)	Прогнозируемая величина количества обточек гребней колесных пар локомотивов при следующих удельных расходах смазочного материала, единиц в месяц			Изменение количества обточек при увеличении смазочного материала, %	
		6,0 кг/км	9,6 кг/км	13,0 кг/км	с 6 до 9,6 кг/км	с 9,6 до 13 кг/км

Q=3400 т V=47 км/ч	«Влажный» период	115	107	115	-7,37	+7,57
	«Сухой» период	79	70	78	-10,78	+11,50
Q=3600 т V=50 км/ч	«Влажный» период	121	108	125	-11,00	+16,10
	«Сухой» период	85	71	89	-15,73	+24,32
Q=3800 т V=55 км/ч	«Влажный» период	127	114	140	-10,19	+23,04
	«Сухой» период	90	77	104	-14,30	+33,88

Дено Орехово ТЧ-5 Каширское направление

Эксплуатационные показатели	Прогнозируемая величина интенсивности изнашивания при следующем удельном расходе смазочного материала, мм/10 ⁴ лок-км			Изменение интенсивности изнашивания при увеличении смазочного материала, %	
	5 кг/км	8 кг/км	11 кг/км	с 5 до 8 кг/км	с 8 до 11 кг/км
Q=4100 т V=42 км/ч	0,307	0,279	0,305	-9,12	+9,32
Q=4300 т V=47 км/ч	0,322	0,294	0,353	- 8,6	+20
Q=4500 т V=52 км/ч	0,338	0,310	0,401	-8,28	+29,35

Показатели эксплуатационной работы	Климатические условия эксплуатации (сезонность)	Прогнозируемая величина удельного расхода электроэнергии при следующем удельном расходе смазочного материала, кВт ч/10 ⁴ ткм			Изменение удельного расхода электроэнергии при увеличении смазочного материала, %	
		5,0 кг/км	8,0 кг/км	11,0 кг/км	с 5 до 8 кг/км	с 8 до 11 кг/км
Q=4100 т V=42 км/ч	«Влажный» период	102	96	103	-6,42	+7,93
	«Сухой» период	96	90	101	-6,75	+11,79
Q=4300 т V=47 км/ч	«Влажный» период	102	95	105	-6,44	+10,44
	«Сухой» период	96	90	103	-6,81	+14,46
Q=4500 т V=52 км/ч	«Влажный» период	102	95	107	-6,45	+13,02
	«Сухой» период	96	89	105	-6,83	+17,22

Показатели эксплуатационной работы	Климатические условия эксплуатации (сезонность)	Прогнозируемая величина количества обточек гребней колесных пар локомотивов при следующих удельных расходах смазочного материала, единиц в месяц			Изменение количества обточек при увеличении смазочного материала, %	
		5,0 кг/км	8,0 кг/км	11,0 кг/км	с 5 до 8 кг/км	с 8 до 11 кг/км
Q=4100 т V=42 км/ч	«Влажный» период	97	91	96	-5,85	+5,77
	«Сухой» период	68	62	67	-8,30	+8,40
Q=4300 т	«Влажный» период	100	94	106	-5,67	+12,66

V=47 км/ч	«Сухой» период	71	65	77	-7,94	+18,18
Q=4500 т	«Влажный» период	103	97	115	-5,49	+18,88
V=52 км/ч	«Сухой» период	74	69	87	-7,60	+26,73

Как видно из таблицы 3.5, эффективность применения лубрикации соответствует траектории кривой линии приведенной на рисунке 3.4. Вначале имеется значительный прирост положительных эффектов от смазывания в кривых (фаза 1) до достижения оптимальных размеров удельного расхода смазочного материала (фаза 2) к удельному ресурсопотреблению.

Излишнее либо нерегулярное ее внесение (фаза 3) вызывает резкое ухудшение экономических результатов приводящих к ущербам в форме ускоренного роста интенсивности изнашивания, количества обточек, электроэнергии на тягу поездов, т.е. к росту эксплуатационных расходов и снижению прибыли [41,43].

Изучение величин интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар в локомотивных депо показало различную эффективность от применения лубрикации как ресурсосберегающей технологии. Например, в локомотивном депо Бекасово наилучший результат экономии для средних условий эксплуатации по интенсивности изнашивания - 0,032 мм (- 11,6%), а в депо Орехово - 0,028 мм (-8,7%). При этом имеет место обратное соотношений экономии электроэнергии. В депо Бекасово снижение в среднем составит 6 кВт.ч (-5%), а в депо Орехово – 7 кВт.ч (-6,7%).

При усилении интенсивности эксплуатационной работы на рассматриваемых участках отмечаем необходимость повышения требований к нормированию оптимальных размеров смазочных материалов, так как его перерасход приводит к значительным ухудшениям экономической результативности лубрикации. Возникает обратный эффект – резкий рост интенсивности изнашивания в депо Бекасово - +0,064 мм (+24,81%), в депо Орехово +0,091 (+29,35%) и удельного энергопотребления, в депо Бекасово - +4,1 кВт.ч (+3,82%) и в депо Орехово - +16 кВт.ч (+17,22%), что сокращает

жизненный цикл применения изучаемой технологии в системе «колесо-рельс» [37].

При этом можно продлить период и повысить эффективность применения смазки за счет повышения технического уровня смазочного оборудования по следующим основным направлениям:

- создание комплектного оборудования по принципу системы машин;
- расширение номенклатуры смазочных систем для различных видов стационарных и мобильных машин, а также различных производственных и климатических условий;
- создание автоматических систем, адаптирующихся к режимам работы основных узлов трения машин;
- повышение точности и стабильности подачи смазочного материала.

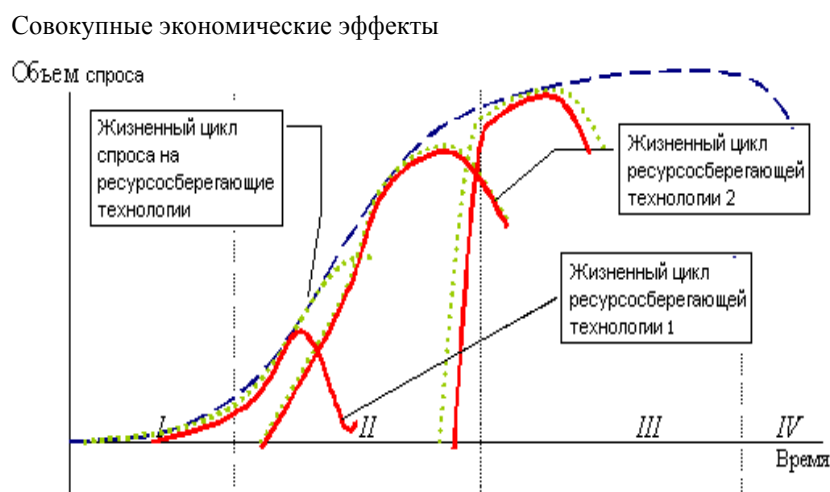


Рисунок 3.4 - Жизненный цикл спроса на ресурсосберегающие технологии

Все это обуславливает актуальность анализа практического опыта жизненного цикла используемых трибологических технологий на железных дорогах РФ и необходимость разработки теоретической концепции управления им. Особенно это важно для компании ОАО «РЖД», работающей на быстро изменяющемся транспортном рынке.

Существующие подходы рассматривают систему управления жизненным циклом трибологических мероприятий в системе «колесо-рельс» как комплекс мероприятий без моделирования, либо модели рассматриваются в теоретическом плане.

Для решения этой проблемы целесообразно решить следующие задачи:

- исследование специфики развития трибологических мероприятий в системе «колесо-рельс» с учетом характера научно-технического прогресса;
- разработка концепции и методических основ регулирования ЖЦ трибологических мероприятий;
- выявление характера и совместного учета факторов влияющих на продолжительность жизненного цикла трибологических мероприятий лежащих в трех плоскостях: технологической, коммерческой и временной;
- методическое обоснование функции спроса ресурсосбережения в системе «колесо-рельс» для моделирования жизненного цикла трибологических мероприятий;
- разработка модели жизненного цикла трибологического мероприятия и оценка влияния маркетинговых воздействий на параметры жизненного цикла;
- обосновать целесообразность применения и сформировать интегрированную систему управления ЖЦ трибологических мероприятий в системе «колесо-рельс»;
- идентификация фаз жизненного цикла технологий лубрикации в системе «колесо-рельс».

В соответствии с инновационной программой развития ОАО «РЖД» до 2015 года рассмотрены методические подходы к разработке механизма управления ресурсосберегающими технологиями как фактора конкурентоспособности.

3.3. Алгоритм выбора эффективного варианта систем лубрикации при конкретных условиях эксплуатации участков железных дорог

Количественная оценка экономического эффекта от оптимизации размеров лубрикации в изучаемых депо проиллюстрирована расчетами, построенными на прогнозных показателях работы Московской железной дороги в соответствии с принятой Энергетической стратегией холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года [148] и на перспективу до 2030 года [1], таблица 3.6.

Таблица 3.6 - Параметры основной деятельности холдинга «РЖД» и меры повышения энергетической эффективности и энергобезопасности перевозочного процесса на период до 2030 года

2010 – 2015 годы	2016 – 2030 годы
Параметры основной деятельности холдинга «РЖД»	
Грузооборот, млрд. ткм нетто	
консервативный сценарий 2380,0 (+27,6%)	3050,0 (+63,5%)
оптимистичный сценарий 2552,0 (+36,8%)	3300,0 (+76,9%)
Пассажиروоборот, млрд. пасс.-км	
консервативный сценарий 165,5 (+9,2%)	195,0 (+28,7%)
оптимистичный сценарий 182,4 (+20,4 %)	206,9 (+36,5%)
Общая приведенная работа, млрд. ткм брутто	
Меры повышения энергоэффективности и энергобезопасности перевозочного процесса	
В области эксплуатации железных дорог и организации перевозочного процесса:	
Улучшение показателей использования локомотивов и работы объектов инфраструктуры: рост среднего веса грузовых поездов на 6%; организация регулярного движения поездов весом 6000 – 6300 т на основных направлениях; организация движения поездов весом 9000 т и более на отдельных направлениях; увеличение средней участковой скорости в грузовом движении на 10%; увеличение маршрутной скорости пассажирских поездов на основных направлениях на 12 – 15%; организация движения поездов по энергооптимальным графикам; повышение производительности локомотивов в грузовом движении на 16,4 % до 2020 года (к уровню 2008 года); снижение уровня отказов технических средств на 20%; рост наработки объектов инфраструктуры на отказ на 30 – 40%.	Увеличение протяженности железных дорог на 22 тыс. км (27% к уровню 2006 года). Расширение полигона движения тяжеловесных поездов до 13,8 тыс. км. Расширение полигона обращения пассажирских поездов со скоростями движения: 140 – 160 км/ч – до 10,8 тыс. км, 300 – 350 км/ч – до 1,5 тыс. км. Организация движения поездов по графикам, учитывающим пиковые нагрузки энергосистем.

Как видно из таблицы 3.6, проводится системная работа по повышению веса и длины грузовых поездов, ключевым фактором которой является расширение полигонов обращения и увеличения количества поездов весом 6300 т и 9000 т.

В 2009 году на сети железных дорог проведено свыше 9 тыс. соединенных поездов, а в 2010 году их количество увеличено на 10%. Количественные показатели снижения удельного расхода электроэнергии, подтвержденные эксплуатационной практикой железных дорог, следующие: 4,5%, 5,5%, 6,5% и 7,0% для вариантов с поездами массой 6, 8, 9 и 12 тыс. т соответственно. С учетом этого необходимо разработать концепцию развития тяжеловесного движения, предусматривающую усиление элементов инфраструктуры для обеспечения пропуска тяжеловесных и соединенных поездов на выделенных направлениях.

Опыт показывает, что оптимизация (снижение) электропотребления должна осуществляться комплексно – как за счет внедрения нового и модернизации существующего ЭПС, так и в сфере организации перевозок и в системах тягового электроснабжения.

Поэтому для снижения удельных энергозатрат целесообразно:

- внедрение энергооптимальных технологий вождения поездов в зависимости от эксплуатационных условий (соответствие мощности электровоза массе поезда, работа электровоза в оптимальном по КПД режиме);
- расширение использования лубрикации зоны трения системы «колесо-рельс». Только в 2010 году поставлено на железные дороги 1160 путевых лубрикаторов и локомотивных рельсосмазывателей.

Сохранение темпа реализации указанных мероприятий в локомотивном хозяйстве в дальнейшем позволит обеспечить 5–6% снижения удельных энергозатрат на тягу поездов.

Оценка предельного срока эффективного применения лубрикации как основной ресурсосберегающей технологии на Московской железной дороге проводилась по:

- критерию выполнимости прогнозных параметров удельного расхода электроэнергии на тягу поездов

На основе сценарных показателей перевозочного процесса и анализа имеющегося потенциала энергосбережения технических средств и технологий определены прогнозируемые на ближайшую (до 2015 года) и отдаленную (до 2030 года) перспективы величины удельного расхода ТЭР на тягу поездов – для каждого вида тяги и по каждому виду движения, в том числе в разрезе железных дорог ОАО «РЖД».

Прогноз выполнения плановых заданий снижения удельного расхода электроэнергии на тягу поездов в изучаемых депо Московской железной дороги основан на регрессионном анализе влияния показателей и факторов, оказывающих существенное воздействие на уровень электропотребления в тяге поездов в предшествующий период и определивших тренды изменения удельного расхода электроэнергии, характерные для каждого локомотивного депо Московской железной дороги. Для прогноза удельного расхода электроэнергии на расчетные периоды на основе модельно-предсказательного подхода использовалось математическое описание тренда путем ввода в эти уравнения показателей эксплуатационной работы, прогнозируемых для каждого изучаемого депо и потенциала энергосбережения от использования лубрикации в системе «колесо-рельс», рисунок 3.6, таблицы 3.7 - 3.8.

Таблица 3.7 - Прогнозируемое снижение удельного расхода электроэнергии на тягу поездов к уровню 2010 года

В целом по ОАО «РЖД»:	к 2015 году: 1,0 – 2,4% к 2020 году: 2,8 – 4,3%
-----------------------	--

На Московской железной дороге:	к 2015 году: 3,6 – 6,1% к 2020 году: 7,1 – 10,2%
--------------------------------	---

Применение эконометрических моделей эффективности системы лубрикации позволит произвести прогнозирование отдельных показателей в зависимости от режимов лубрикации и прогнозных значений показателей эксплуатационной работы локомотивных депо.

Плановое задание по снижению удельного расхода электроэнергии по Московской железной дороге и прогнозы выполнения удельного расхода электроэнергии на тягу поездов к уровню 2010 года по локомотивным депо Московской железной дороги с использованием лубрикации в системе «колесо-рельс» приведено в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Плановое задание по снижению удельного расхода электроэнергии по Московской железной дороге и прогнозы выполнения удельного расхода электроэнергии на тягу поездов к уровню 2010 года по локомотивным депо Московской железной дороги с использованием лубрикации в системе «колесо-рельс», %

Показатели	2010 г.	2015г.	2020 г.
Плановое задание Московской железной дороги	100	94	90
Прогноз для депо Бекасово ТЧ-23	94,5	94,5	94,5
Прогноз для депо Орехово ТЧ-5	93,5	93,5	93,5
Прогноз для депо Рыбное ТЧ-38	90,4	90,4	90,4

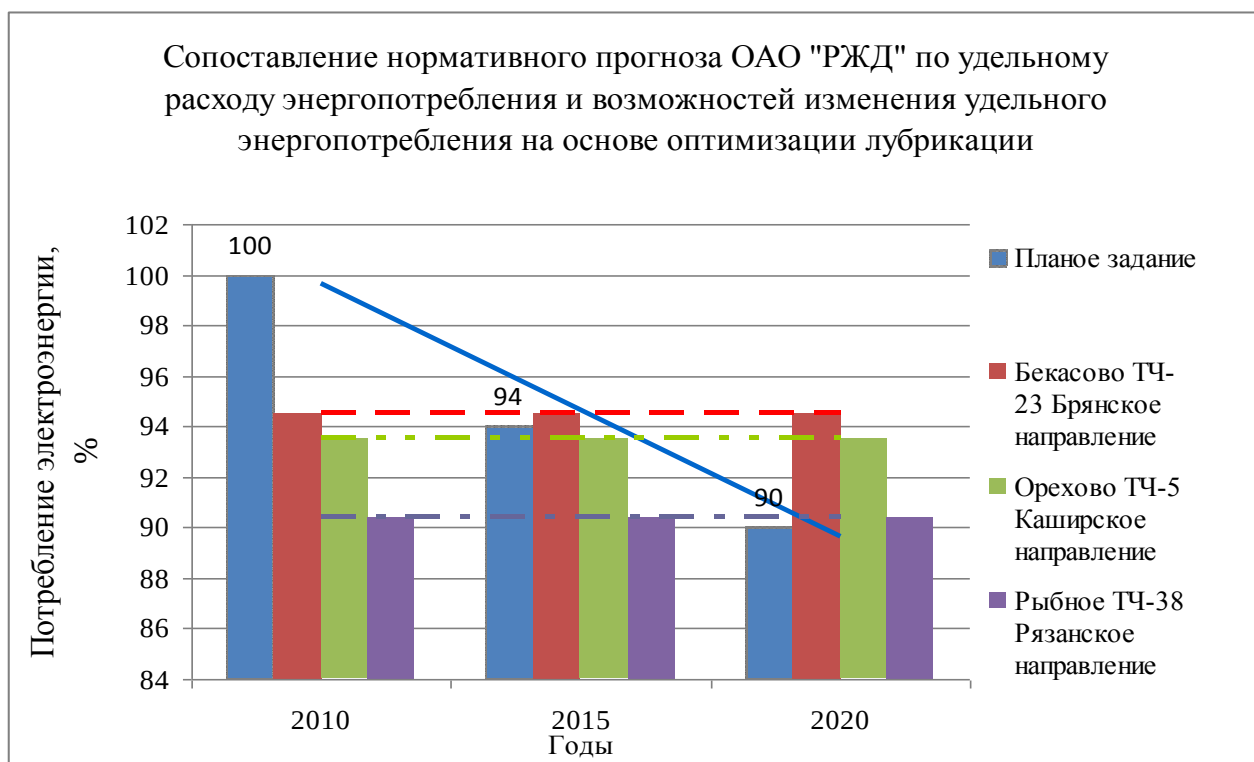


Рисунок 3.6 - Определение предельного срока эффективного применения лубрикации для изучаемых локомотивных депо Московской железной дороги по критерию удельного энергопотребления на тягу поездов

Анализ выполненных расчетов с использованием регрессионных уравнений, в которых использовались прогнозные значения роста весовых норм поездов на 6% и на 10% скоростных характеристик до 2015 года и их пролонгация до 2020 года, а также построенная диаграмма (рисунок 3.6) показывает, что прогнозные показатели по энергопотреблению в 2015 году выполняются во всех изучаемых локомотивными депо Московской железной дороги, однако к 2020 году прогноз может быть выполнен только в локомотивном депо Рыбное ТЧ-38.

Таким образом, можно утверждать о предельном сроке эффективного применения лубрикации до 2015 года, дальнейшее ее использование должно быть подтверждено дополнительно выполненными оценками по каждому депо.

Если принять нормативные прогнозы ОАО «РЖД» за критерий оценки эффективности технологии, то применение технологии лубрикации для депо

Бекасово закончит свой жизненный цикл в 2015 году, для депо Орехово – в 2017 году, депо Рыбное – 2020 год.

- критерию выполнимости прогнозного параметра интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов

Проведенные расчеты с использованием полученных регрессионных уравнений и прогнозных показателей роста весовых норм и скоростных характеристик в изучаемых депо при различном удельном расходе смазочного материала показали следующие значения интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов в изучаемых локомотивных депо Московской железной дороги, таблицы 3.8 -3.9.

Анализ темпа изменения интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов показал следующее: изменение количества вносимого смазочного материала в систему «колесо-рельс» при повышении весовых и скоростных характеристик эксплуатационной работы железнодорожного участка замедляет динамику положительного эффекта и ускоряет отрицательный результат в виде прироста интенсивности изнашивания.

Оценка времени завершения жизненного цикла технологий лубрикации проведена на основе сценарных показателей перевозочного процесса и анализа имеющегося потенциала ресурсосбережения трибологической технологии такой как лубрикация, используемой в изучаемых локомотивных депо и на основе прогноза выполнения плановых заданий снижения интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар в изучаемых депо Московской железной дороги.

Прогнозируемые уровни к плановому уровню удельной нормы интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов, мм на 10 тыс. лок-км получены на основе параметров основной деятельности холдинга «РЖД» до 2030 года (таблица 3.8):

- рост среднего веса грузовых поездов на 6%;
- увеличение средней участковой скорости в грузовом движении на 10%.

Результаты расчетов проведенных в соответствии с указанными параметрами приведены в таблицах 3.8 – 3.9

Таблица 3.8 - Прогноз выполнения энергетической программы ОАО
«РЖД», мм/10 тыс.лок-км

Показатели	Прогноз по программе 2015 года
Плановое задание Московской железной дороги (2015 год)	0,250
Прогноз Бекасово ТЧ-23	0,308
Прогноз Рыбное ТЧ-38	0,295
Прогноз Орехово ТЧ-5	0,243

Таблица 3.9 - Плановое задание по Московской железной дороге и прогнозы выполнения удельной интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар к уровню 2010 года по локомотивным депо Московской железной дороги с использованием лубрикации в системе «колесо-рельс», %

Показатели	Годы		
	2010	2015	2020
Плановое задание Московской железной дороги	100	100	100
Прогноз Бекасово ТЧ-23	97,6	125,6	145,6
Прогноз Рыбное ТЧ-38	98,7	113,6	123,2
Прогноз Орехово ТЧ-5	84,0	98,0	110,8

Как видно из таблиц 3.8 - 3.9, выполнение планового задания 2015 года по интенсивности изнашивания обеспечит только депо Орехово ТЧ-5. В остальных депо предполагается значительное превышение показателя, что свидетельствует об ограниченности экономической эффективности применения лубрикации как основного трибологического мероприятия на Московской железной дороге и зависимость от условий эксплуатации.

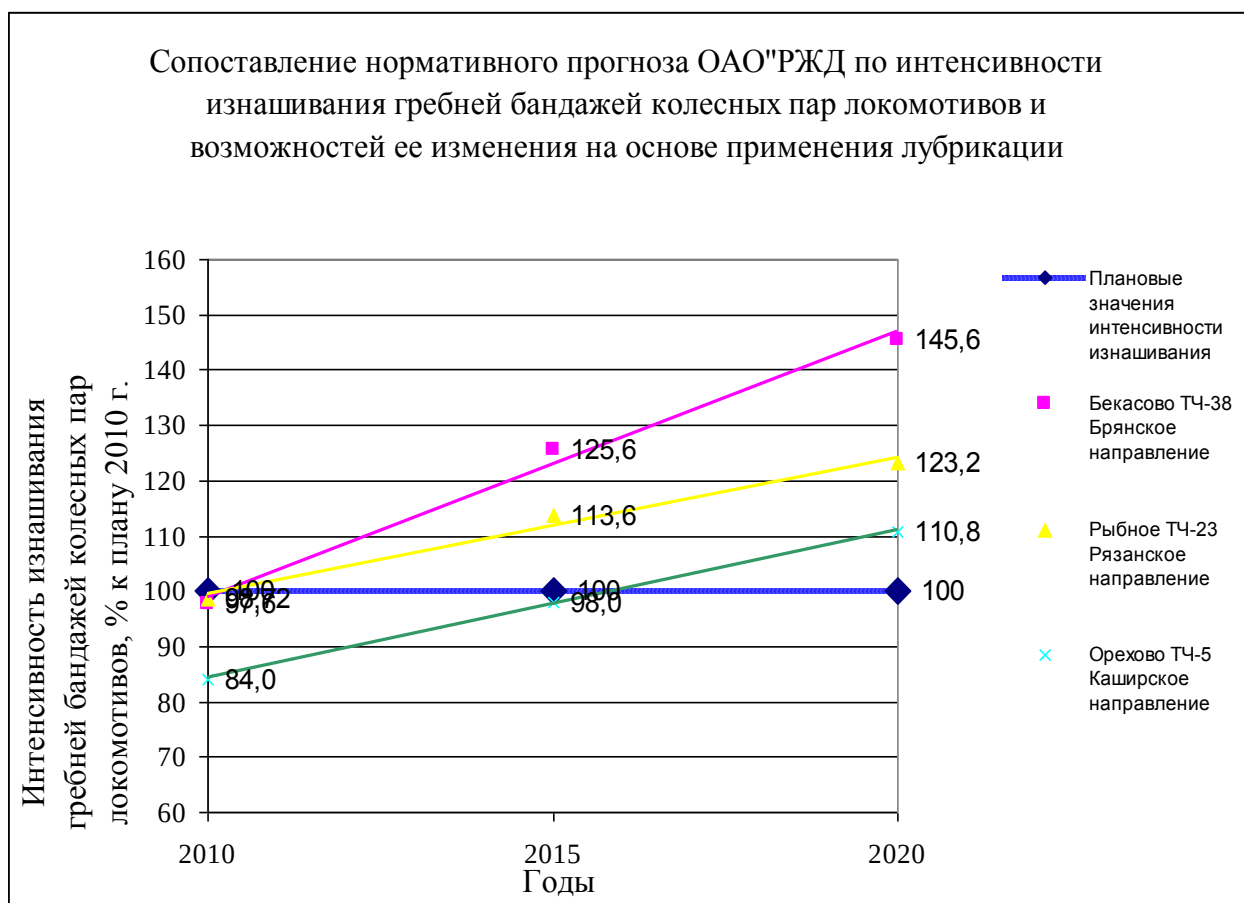


Рисунок 3.7 - Определение предельного срока эффективного применения лубрикации для изучаемых локомотивных депо Московской железной дороги по критерию интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар
ЛОКОМОТИВОВ

Анализ продолжительности жизненного цикла трибологической технологии (лубрикации) на основе выбранных критериев эффективности позволяет составить сводный прогноз предельных сроков ее эффективного применения в локомотивных депо Московской железной дороги в соответствии с прогнозными заданиями наращивания эксплуатационной работы установленными Энергетической программой ОАО «РЖД» до 2030 года приведен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 - Оценка выполнения прогнозных значений показателей эффективности ресурсосберегающих технологий: удельного расхода электроэнергии и интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов локомотивными депо Московской железной дороги

Депо	Критерий оптимальности	Годы		
		2010	2015	2020
Бекасово ТЧ-23	Удельный расход электроэнергии на тягу поездов	+	-	-
Рыбное ТЧ-38		+	+	-
Орехово ТЧ-5		+	+	-
Бекасово ТЧ-23	Удельная интенсивность изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов	+	-	-
Рыбное ТЧ-38		+	-	-
Орехово ТЧ-5		+	+	-

Проведенные исследования показали, что в настоящее время использование лубрикации в системе «колесо-рельс» в изучаемых депо обеспечило выполнение плановых заданий 2010 года по удельному расходу электроэнергии. Анализ темпов снижения и сопоставление удельных расходов электроэнергии заданных Энергетической программой ОАО «РЖД» и прогнозируемых уровней удельных норм расходов электроэнергии позволит выполнить плановые задания 2015 года только двум локомотивным депо Орехово ТЧ-5 и Рыбное ТЧ-38, а к 2020 году плановые задания могут быть не выполнены всеми тремя депо.

Таким образом, можно говорить о предельном уровне полезности лубрикации как ресурсосберегающей технологии, применяемой на железных дорогах по соотношению фактических значений с прогнозными предельными значениями выбранных критериев эффективности. Это определяет эффективность технологии и продолжительность ее жизненного цикла, которые существенно зависят от условий эксплуатации и культуры обслуживания техники в изучаемых локомотивных депо.

3.4. Оценка экономического эффекта от применения системы лубрикации на конкретных железнодорожных участках

Расчёт экономического эффекта от применения системы лубрикации дан на примере локомотивного депо Орехово ТЧ-5 Каширское направление.

Оценка эффективности использования технических средств лубрикации производится за расчетный период по годовому приведенному экономическому эффекту, который определяется по формуле:

$$\mathcal{E}^k = \sum_k \left(\Delta P^k - 3^k - \frac{K^k}{T^k} \right) \quad (3.18)$$

где k - переменная, обозначающая структурное подразделение (локомотивное хозяйство);

ΔP - годовое изменение затрат от использования ТСЛ (технических средств лубрикации), руб.;

3 - годовые текущие затраты на содержание и обслуживание ТСЛ, руб.;

K - инвестиционные затраты на приобретение и внедрение ТСЛ, руб.;

T - срок службы, лет.

Расчет экономического эффекта использования ТСЛ осуществляется на основе исходных данных, формируемых в причастных структурных подразделениях филиалов ОАО «РЖД» по внутренним формам статистической отчетности:

- ТО-3 «Отчет о результатах использования технических средств лубрикации для снижения износа бандажей колесных пар и увеличения ресурса бандажей»;

- ТО-31 «Отчет об использовании технических средств лубрикации пары трения «колесо-рельс»;

- 7-у Предприятие;

- ТО-4 «Отчет о наличии и состоянии тягового подвижного состава»;

- ТО-4ВЦ «Показатели о наличии и состоянии локомотивов»;
- ТО-2 «Отчет о наличии, ремонте, работе локомотивов, моторвагонного подвижного состава, грузоподъемных кранов»;
- ЦО-1 «Отчет о наличии, распределении, работе и использовании подвижного состава»;
- ТХО-9 «Отчет о расходе топлива или электроэнергии на локомотивах и мотор-вагонном подвижном составе (в границах участков работы локомотивных бригад)»;
- НТО-4 «Отчет об эффективности использования технических средств, внедренных по программам ресурсосбережения на железных дорогах и других филиалах ОАО «РЖД».

Порядок оценки экономического эффекта для применяющих лубрикацию структурных подразделений филиалов ОАО «РЖД» включает в себя:

- расчет единовременных затрат на приобретение и внедрение ТСЛ;
- расчет текущих фактических затрат при использовании ТСЛ;
- определение результата от применения ТСЛ (сокращение эксплуатационных затрат и др.);
- оценку экономического эффекта.

Расчет затрат в структурных подразделениях филиалов ОАО «РЖД» от использования ТСЛ

А) Инвестиционные (единовременные, капитальные) затраты

Дирекция тяги

- Затраты на закупку систем рельсосмазывания на базе локомотива и гребнесмазывания, установленной на локомотиве (включая переоборудование локомотивов):

$$K^{\text{л}} = \sum_{i=1}^n (C_i^{\text{л}} \cdot N_i^{\text{л}}) \quad (3.19)$$

где $C_i^{\text{Л}}$ - стоимость одной системы рельсосмазывания на базе локомотива или гребнесмазывания, установленной на локомотиве, руб./шт.;

$N_i^{\text{Л}}$ - количество закупленных систем рельсосмазывания на базе локомотива или систем гребнесмазывания, установленных на локомотивах, шт.

В) Текущие (эксплуатационные) затраты на содержание ТСЛ

Дирекция тяги

Суммарные текущие затраты Дирекции тяги на содержание ТСЛ определяются по формуле:

$$З^{\text{Л}} = \sum_{l=1}^z З_l^{\text{Л}} = З_{\text{прб}}^{\text{Л}} + З_{\text{э}}^{\text{Л}} + З_{\text{бр}}^{\text{Л}} + З_{\text{амГ}}^{\text{Л}} + З_{\text{амР}}^{\text{Л}} + З_{\text{т}}^{\text{Л}} + З_{\text{СМ}}^{\text{Л}} \quad (3.20)$$

где l - вид текущих затрат;

$З_{\text{прб}}^{\text{Л}}$ - затраты от пробега локомотивов-рельсосмазывателей, определяются по формуле:

$$З_{\text{прб}}^{\text{Л}} = \sum_{j=1}^m (e_{\text{прб}j} \cdot \Pi_{\text{прб}j}) \quad (3.21)$$

где - $e_{\text{прб}j}$ - норматив расходов на 1 км пробега электровоза (тепловоза) j -той серии, руб./лок.-км;

$\Pi_{\text{прб}}$ - пробег рельсосмазывателей на базе электровоза (тепловоза) данной серии, лок.-км.

$З_{\text{э}}^{\text{Л}}$ - затраты от эксплуатации локомотивов-рельсосмазывателей, определяются по формуле:

$$З_{\text{э}}^{\text{Л}} = \sum_{i=1}^m (e_{\text{э}i} \cdot A_{\text{э}i}) \quad (3.22)$$

где $e_{\text{э}i}$ - норматив расходов на 1 локомотиво-час работы электровоза-рельсосмазывателя (тепловоза-рельсосмазывателя) j -ой серии, руб./лок.-ч;

A_3 - работа рельсосмазывателя на базе электровоза (тепловоза), лок.-ч;

$З_{\bar{o}p}^{\mathcal{L}}$ - затраты на оплату труда локомотивных бригад локомотивов-рельсосмазывателей:

$$З_{\bar{o}p}^{\mathcal{L}} = \sum_{i=1}^n (e_{\bar{o}pi} \cdot T_{\bar{o}pi}) \quad (3.23)$$

где $e_{\bar{o}pi}$ - норматив расходов на 1 бригадо-час работы i -ой локомотивной бригады электровоза (тепловоза), руб./бриг.-ч;

$T_{\bar{o}pi}$ - суммарное время работы локомотивных бригад рельсосмазывателей на базе электровозов (тепловозов), бриг.-ч.

$З_{амГ}^{\mathcal{L}}$ - затраты на амортизацию со стоимости систем гребнесмазывания;

$$З_{амГ}^{\mathcal{L}} = \sum_{i=1}^n (K_{Гi}^{\mathcal{L}} \cdot a_{ам} / 100) \quad (3.24)$$

где $K_{Гi}^{\mathcal{L}}$ - инвестиционные затраты на закупку систем гребнесмазывания i -го типа, руб.;

$a_{ам}$ - норма отчислений на амортизацию, %.

$З_{амР}^{\mathcal{L}}$ - затраты на амортизационные отчисления со стоимости систем рельсосмазывания:

$$З_{амР}^{\mathcal{L}} = \sum_{i=1}^n (K_{Pi}^{\mathcal{L}} \cdot \frac{a_{ам}}{100}) + \sum_{j=1}^m (K_J^{\mathcal{L}} \cdot \frac{a_{амj}}{100}) \quad (3.25)$$

где $K_{Pi}^{\mathcal{L}}$ - инвестиционные затраты на закупку системы рельсосмазывания i -того типа, руб.;

$a_{ам}$ - норма отчислений на амортизацию, %.

$K_J^{\mathcal{L}}$ - инвестиционные затраты на закупку электровоза (тепловоза) j -той серии, на базе которого создан рельсосмазыватель, руб.;

$З_m^{\mathcal{L}}$ - затраты на тягу локомотивов-рельсосмазывателей:

$$Z_m^L = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p (C_{ik} \cdot W_{ik}) \quad (3.26)$$

где C - стоимость i -го ресурса (тариф за электроэнергию, цена дизельного топлива) на тягу локомотива-рельсосмазывателя (электровоза-рельсосмазывателя, тепловоза-рельсосмазывателя) на k -ом участке (дистанции), руб./ кВт·ч (руб./кг);

W - расход i -го ресурса (электроэнергии, дизельного топлива) на тягу локомотива-рельсосмазывателя на k -том участке (дистанции), кВт·ч (кг).

Z_{CM}^L - затраты на смазочные материалы для лубрикации системы «колесо-рельс» рельсосмазывателями на базе локомотивов и бортовыми гребнесмазывателями:

$$Z_{CM}^L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{CMij} \cdot m_{CVij}) \quad (3.27)$$

где C_{CM} - цена смазочного материала i -го вида для рельсосмазывателя (гребнесмазывателя) j -ой серии, руб./кг (или для стержней - руб./шт.);

m_{CV} - расход смазочного материала данного типа рельсосмазывателями (гребнесмазывателями) j -ой серии за отчетный период, кг (или - шт.).

Дирекция по ремонту тягового подвижного состава

Суммарные текущие затраты Дирекции по ремонту тягового подвижного состава на содержание ТС Л определяются по формуле:

$$Z^{LP} = \sum_{l=1} Z_l^{LP} = Z_{TO}^{LP} + Z_{BK}^{LP} \quad (3.28)$$

где l - вид текущих затрат;

Z_{TO}^{LP} - затраты на проведение технического обслуживания и ремонта систем рельсосмазывания на базе локомотивов или систем гребнесмазывания, установленных на локомотивах:

$$З_{ТО}^{ЛР} = \sum_{i=1}^n C_{ТОi} \cdot N_{ТОi} \quad (3.29)$$

где $C_{ТО}$ - стоимость технического обслуживания и ремонта рельсосмазывателей или бортовых систем гребнесмазывания i -го типа, руб./ед.;

$N_{ТО}$ - количество обслуженных и отремонтированных систем рельсосмазывания или бортовых систем гребнесмазывания, ед.

$З_{БК}^{ЛР}$ - затраты на проведение входного контроля качества смазочных материалов, используемых для лубрикации, определяются по формуле:

$$З_{БК}^{ЛР} = \sum_{j=1}^m (C_{БКj} \cdot N_{БКj}) \quad (3.30)$$

где $C_{БК}$ - стоимость проведения j -го вида анализа (плотность, вязкость, пенетрация и т.п.), руб./ед.;

$N_{БК}$ - количество анализов j -того вида, ед.

С) Изменение текущих затрат при использовании технологий лубрикации системы «колесо-рельс»

Дирекция тяги

Изменение текущих затрат по Дирекции тяги при использовании технологий лубрикации системы «колесо-рельс» составляет:

$$\Delta P^{Л} = \sum_{l=1} \Delta P_l^{Л} = \Delta P_{прсб}^{Л} + \Delta P_{прсс}^{Л} + \Delta P_m^{Л} + \Delta P_{амоб}^{Л} + \Delta P_{амс}^{Л} \quad (3.31)$$

где l - вид изменения затрат;

$\Delta P_{прсб}^{Л}$ - изменение затрат от простоя локомотивов на проведение обточек по износу, подрезу и остроконечному накату гребня бандажей колесных пар:

$$\Delta P_{прсб}^{Л} = \sum_{j=1}^m (e_{Ппрсj} \cdot T_{Ппрсбj} \cdot k - e_{Опрсj} \cdot T_{Опрсбj} \cdot k_p) \quad (3.32)$$

где $e_{Ппрс}, e_{Опрс}$ - расходы на 1 час простоя локомотива j -той серии (электровоза, тепловоза) по периодам («предыдущий» и «отчетный» (текущий) периоды, соответственно), руб./ч;

$T_{Ппрс\phi j}, T_{Опрс\phi j}$ - суммарное время простоя локомотива j -той серии на проведение обточек бандажей по износу, подрезу и остроконечному накату гребня колесных пар по периодам, ч;

k - коэффициент-дефлятор приведения цен предыдущего периода к отчетному (текущему);

k_p - коэффициент приведения работы, выполненной локомотивами в отчетном (текущем) периоде к предыдущему, A_o и A_{II} - для магистральных локомотивов работа измеряется в единицах линейного пробега (лок-км), а для маневровых - в единицах прочей маневровой работы (лок-км).

$\Delta P_{прсс}^{\text{Л}}$ - изменение затрат от простоя локомотивов на проведение смен бандажей колесных пар локомотивов:

$$\Delta P_{прсс}^{\text{Л}} = \sum_{j=1}^m (e_{Ппрсj} \cdot T_{Ппрс\phi j} \cdot k - e_{Опрсj} \cdot T_{Опрс\phi j} \cdot k_p) \quad (3.33)$$

где $e_{Ппрс}, e_{Опрс}$ - расходы на 1 час простоя локомотива j -той серии (электровоза, тепловоза) по периодам («предыдущий» и «отчетный» (текущий) периоды, соответственно), руб./ч;

$T_{Ппрсс}, T_{Опрсс}$ - суммарное время простоя локомотива j -той серии на проведение смен бандажей колесных пар по периодам, ч;

ΔP_m^p - изменение затрат на тягу поездов. Определяется в соответствии с Методикой оценки энергоэффективности применения лубрикации контакта «колесо-рельс» [109].

$\Delta P_{амоб}^{\text{Л}}$ - изменение затрат на амортизационные отчисления со стоимости локомотивного парка, находящегося на обточках бандажей по износу, подрезу и остроконечному накату гребня колесных пар:

$$\Delta P_{амоб}^{\mathcal{L}} = \sum_{j=1}^m \left[K_j^{\mathcal{L}} \cdot \frac{a_{амj}}{100} \cdot (N_{Побj} \cdot T_{Побj} - N_{Ообj} \cdot T_{Ообj}) / (t \cdot 24) \right] \quad (3.34)$$

где $K_j^{\mathcal{L}}$ - инвестиционные затраты на закупку локомотива j -той серии (электровоза, тепловоза), руб.;

$a_{ам}$ - норма отчислений на амортизацию, %;

$N_{Поб}, N_{Ооб}$ - количество локомотивов j -той серии, находящихся на обточках бандажей по износу, подрезу и остроконечному накату гребня колесных пар по периодам («предыдущий» и «отчетный» (текущий) периоды, соответственно), соответственно, шт.;

$T_{Поб}, T_{Ооб}$ - время нахождения локомотивов j -той серии на обточках бандажей по износу, подрезу и остроконечному накату гребня колесных пар по периодам, соответственно, ч;

t - количество дней в рассматриваемых периодах сравнения, дни;

24- количество часов в сутках, ч.

$\Delta P_{амс}^{\mathcal{L}}$ - изменение затрат на амортизационные отчисления со стоимости локомотивного парка, находящегося на ремонтах для смены бандажей колесных пар:

$$\Delta P_{амс}^{\mathcal{L}} = \sum_{j=1}^m \left[K_j^{\mathcal{L}} \cdot \frac{a_{амj}}{100} \cdot (N_{Псj} \cdot T_{Псj} - N_{Осj} \cdot T_{Осj}) / (t \cdot 24) \right] \quad (3.35)$$

где $K_j^{\mathcal{L}}$ - инвестиционные затраты на закупку локомотива j -той серии (электровоза, тепловоза), руб.;

$a_{ам}$ - норма отчислений на амортизацию, %;

$N_{Пс}, N_{Ос}$ - количество локомотивов j -той серии, находящихся на ремонтах для смены бандажей колесных пар по периодам («предыдущий» и «отчетный» (текущий) периоды, соответственно), шт.;

$T_{Пс}, T_{Ос}$ - время нахождения локомотивов j -той серии на ремонтах для смены бандажей колесных пар по периодам, соответственно, ч;

Дирекция по ремонту тягового подвижного состава

Изменение текущих затрат по Дирекции по ремонту тягового подвижного состава при использовании технологий лубрикации системы «колесо-рельс» составляет:

$$\Delta P^{LP} = \sum_{j=1} \Delta P_l^{LP} = \Delta P_{об}^{LP} + \Delta P_c^{LP} + \Delta P_{ст}^{LP} \quad (3.36)$$

где l - вид изменения затрат;

$\Delta P_{об}^{LP}$ - изменение затрат на проведение обточек бандажей по износу, подрезу и остроконечному накату гребня колесных пар локомотивов:

$$\Delta P_{об}^{LP} = \sum_{j=1}^m (C_{Побj} \cdot N_{Побj} \cdot k - C_{Ообj} \cdot N_{Ообj} \cdot k_p) \quad (3.37)$$

где $C_{Поб}, C_{Ооб}$ - полная стоимость обточки бандажа колесной пары локомотива j -той серии (электровоза, тепловоза), включая амортизационные отчисления на станки для обточки, по периодам «П» и «О», соответственно, руб./пар;

$N_{Поб}, N_{Ооб}$ - количество обточек колесных пар локомотивов j -ой серии из-за износа, подреза и остроконечного наката гребня по периодам, пар;

k - коэффициент-дефлятор приведения цен предыдущего периода к отчетному (текущему);

k_p - коэффициент приведения работы, выполненной локомотивами в отчетном (текущем) периоде к предыдущему, A_o и A_{II} .

ΔP_c^{LP} - изменение затрат на проведение смен бандажей колесных пар локомотивов:

$$\Delta P_c^{LP} = \sum_{j=1}^m (C_{Псj} \cdot N_{Псj} \cdot k - C_{Осj} \cdot N_{Осj} \cdot k_p) \quad (3.38)$$

где $C_{Пс}, C_{Ос}$ - стоимость смены бандажа колесной пары локомотива j -той серии (электровоза, тепловоза), включая стоимость новых бандажей, по периодам («предыдущий» и «отчетный» (текущий) периоды, соответственно), руб./пар;

$N_{Пс}, N_{Ос}$ - количество смен бандажей колесных пар локомотивов j -той серии из-за износа, подреза и остроконечного наката гребня, по периодам, пар;

ΔP_c^{LP} - изменение затрат на содержание и обслуживание станочного парка для обточки бандажей колесных пар локомотивов:

$$\Delta P_{cm}^{LP} = \sum_{j=1}^n (C_{Псмj} \cdot N_{Псмj} \cdot k - C_{Осмj} \cdot N_{Осмj} \cdot k_p) \quad (3.39)$$

где $C_{Псм}, C_{Осм}$ стоимость содержания и обслуживания станка i -го типа для обточки бандажей колесных пар локомотивов, по периодам («предыдущий» и «отчетный» (текущий) периоды, соответственно), руб./ед.;

$N_{Псм}, N_{Осм}$ количество станков i -го типа для обточки бандажей колесных пар локомотивов, по периодам, ед.

В примере моделируется ситуация когда на одном из участков главного хода Москва-Орехово, протяженностью 108 км эксплуатируются 1 локомотив – рельсосмазыватель ВНИКТИ и бортовые гребнесмазыватели АГС-8 на 44 электровозах серии ВЛ-10 локомотивного депо Орехово ТЧ-5.

Результативность работы средств лубрикации определена для оптимального варианта удельного расхода смазочного материала.

Наличие экономии эксплуатационных издержек обуславливает годовое их изменение ΔZ в размере 3,60 млн. руб.

$$\Delta Z = 15,72 + 2,22 - 12,87 - 10,3/7 = 3,6 \text{ млн.руб.}$$

Расчет $K_{эф}$ - коэффициента эффективности в условиях эксплуатации, например, на участке депо Орехово ТЧ-5 позволяет считать технологию лубрикации эффективной, т.к. $K_{интегр}$ лежит в области эффективного использования лубрикации. Этот вывод подтвержден расчетом годового

экономического эффекта от использования технологии лубрикации на участке депо Орехово ТЧ-5. Исходные показатели и результаты этапов расчета даны в приложении 4.

Величина эффекта по отношению к инвестиционным издержкам составляет 35,0%

Годовой экономический эффект рассчитан в соответствии с проектом методики оценки эффективности использования лубрикации системы «колесо-рельс» в структурных подразделениях филиалов ОАО «РЖД» [120] и составил:

$$\Delta Z = 15,72 + 2,22 - 12,87 - 10,3/7 = 3,6 \text{ млн руб.}$$

$$\mathcal{E} = \Delta Z - 0,15 \times K = 3,6 - 0,15 \times 10,3 = 2,1 \text{ млн.руб./год}$$

Рентабельность капиталовложений в систему лубрикации, используемую в депо Орехово, составила

$$R_{\text{лубр}} = \frac{\Delta Z}{K} \qquad R_{\text{лубр}} = 35\% \qquad (3.40)$$

ВЫВОДЫ по главе 3

1. Эффективность любой системы ресурсосбережения определяется продолжительностью ее жизненного цикла и уровнем достигаемых результатов, которые обобщены в экономии затрат и изменении амортизационных отчислений, а также в дополнительных капиталовложениях.

2. Связь ресурсосбережения и управляющего на него воздействия – лубрикации характеризует производственную функцию системы «колесо-рельс». Задания по ресурсосбережению, адресованные к конкретному времени, позволяют перейти к представлению технологических возможностей системы во времени и к определению времени окончания жизненного цикла технологии. Одна и та же технология имеет разную продолжительность жизненного цикла в зависимости от условий эксплуатации и распределения во времени программы ресурсосбережения.

3. Проведенная оценка экономической эффективности лубрикации при оптимальных расходах смазочных материалов позволила установить, что наибольший экономический эффект достигается при изменении энергопотребления на тягу поездов (более 70% от общего экономического эффекта), остальная часть эффектов (менее 30%) формируется от уменьшения количества обточек и замен бандажей колесных пар локомотивов, а также от уменьшения процента локомотивов, находящихся в ремонте.

4. На основе выполненных расчетов доказано, что отклонения от оптимального расхода смазочных материалов ведут к потерям в системе «колесо-рельс» в виде упущенных эффектов при недостаточной лубрикации или в форме дополнительных ущербов от избыточной лубрикации, выражаемой в дополнительных обточках, заменах бандажей колесных пар, либо в излишнем энергопотреблении на тягу поездов.

5. Доказано, что только в процессе оптимизации смазочных материалов на конкретных участках железнодорожных направлений возможно раскрытие полного потенциала триботехнического мероприятия – лубрикации в системе

«колесо-рельс» и, как следствие, обеспечение конкурентоспособности железнодорожной транспортной продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение лубрикации не однозначно влияет на экономическую эффективность функционирования системы «колесо-рельс».

2. Анализ показал, что работа при неоптимальном расходе смазочных материалов ведет к потерям энергии, повышению интенсивности изнашивания, что увеличивает удельный расход энергопотребления на тягу поездов, расходы в ремонтном хозяйстве, и как следствие, снижает возможности маневров по праву энергопотребления между филиалами ОАО «РЖД».

3. Эффективность лубрикации в целом по сети падает из-за нерационального ее использования, а также повышения интенсивности эксплуатационной работы в отдельных филиалах ОАО «РЖД».

4. Требования роста конкурентоспособности перевозной услуги железнодорожного транспорта накладывают ограничения на тарифы, себестоимость перевозок, рентабельность и удельное энергопотребление. Это, в свою очередь, определяет требуемый уровень эффективности устройств управления триботехническим взаимодействием в системе «колесо-рельс».

5. В работе проанализированы зависимости удельного расхода электроэнергии и интенсивности изнашивания гребней бандажей колесных пар локомотивов от удельного расхода смазочных материалов при минимизации удельного энергопотребления и износа колесных пар локомотивов. Проведенные расчеты указывают на невыполнимость одновременно заданий компании по обоим показателям.

6. В исследовании выявлены факторы, наиболее влияющие на эффективность лубрикации. Это вес поезда, средняя участковая скорость, климатические условия (сезонность), профиль и план участка пути.

7. Для комплексной оценки факторов (п.6) предложен коэффициент оценки эффективности лубрикации и трудности условий эксплуатации на участках железных дорог. Эти обобщенные коэффициенты позволили

сформировать граничную функцию, с помощью которой можно выделить область условий эффективного применения системы лубрикации.

8. На основе указанного в п.7 разработан алгоритм оценки эффективности лубрикации и алгоритм условий получения требуемой эффективности.

9. Для оценки экономического эффекта от применения системы лубрикации необходимо определение ее жизненного цикла. В работе приведен алгоритм формирования фаз жизненного цикла лубрикации и его продолжительности.

10. На основе разработанных моделей и алгоритмов доказано, что только в процессе оптимизации смазочных материалов для конкретных участков железнодорожных направлений возможно раскрытие полного потенциала триботехнического мероприятия – лубрикации в системе «колесо-рельс» и, как следствие, обеспечение повышения конкурентоспособности железнодорожной транспортной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. "Об энергетической стратегии ОАО "РЖД" на период до 2010 года и на перспективу до 2030 года". Распоряжение ОАО "РЖД" от 11.02.2008 № 269р.
2. ISO/IEC 15288 :2008 Системная инженерия - процессы жизненного цикла. Версия 1.0.
3. J. Kramer// Railway Track s Structures/ - 1994 № 7, p. 11-13.
4. Аксенов, В.А. Новые технологии и оборудование для обточки колесных пар без выкатки [Текст] / В.А. Аксенов, Л.А. Полиновский, Г.И.Смагин // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (ТУШИТ), 1998.
5. Андреев, А.И. Износ рельсов и колес подвижного состава [Текст] / А.И. Андреев, К.Л. Комаров, Н.И. Карпущенко // Железнодорожный транспорт. - 1997. - №7. - С.31-36.
6. Ансофф И. Стратегическое управление [Текст] / И. Ансофф. - М.: Экономика, 1989. – 303 с.
7. Афанасьев, В. Н. Эконометрика [Текст]: учебник / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев, Т. И. Гуляева. - М.: Финансы и статистика, 2006. – 256 с.
8. Афоничкин, А.И. Управленческие решения в экономических системах [Текст] / А.И. Афоничкин, Д. Г. Михаленко. - СПб.: Питер, 2009. - 981 с.
9. Бабичков, А.М. Тяга поездов и тяговые расчёты [Текст] / А.М. Бабичков, П.А. Гурский, А.П. Новиков – М.: Транспорт, 1971. – 280 с.
10. Балановский, А.Е. Плазменное упрочнение гребней бандажей колесных пар подвижного состава [Текст] / Балановский А.Е. Глазков В.С., Мороз Б.А. и др. // Сб. тр. СГУПС «Новые технологии на ВСЖД». – СГУПС: 1999. - С. 57-65.

11. Балбегин, Н.Б. Эффективность упрочнения бандажей колесных пар [Текст] / Н.Б. Балбегин, А.А. Воробьев, А.В. Горский, Б.М. Каунышев, // Локомотив. - 1998. - №12. - С.24-25.
12. Барков, Н. Н. Эффективность капитальных вложений в развитие железнодорожного транспорта [Текст] / Н.Н. Барков, Н.Н. Вольфсон, А.Л. Яндроловский. - М.: Транспорт, 1972.- 143 с.
13. Барков, Н.Н. Планирование и эффективность капитальных вложений на железнодорожном транспорте [Текст] / Н.Н. Барков, Ф.П. Мулюкин. - М.: Транспорт, - 1990.
14. Бартенева, Л.И. Технология лубрикации - решающий аспект в борьбе с износом в контакте «колесо-рельс» [Текст] / Л.И.Бартенева // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
15. Белов, И.В. Экономика железнодорожного транспорта [Текст]: учебник для вузов ж.-д. транспорта / И.В. Белов, Н.П. Терешина, В.Г. Галабурда и др. // - М.: УМК МПС России, 2001. – 600 с.
16. Богданов, В. М. Снижение интенсивности износа гребней колес и бокового износа рельсов [Текст] / В. М. Богданов // «Железнодорожный транспорт». - 1992. - № 12. – С. 30-34.
17. Богданов, В.М. Проблема износа колес и рельсов. Возможные способы борьбы [Текст] / В.М. Богданов, Ю.А. Евдокимов, В.Н. Кашников, И.А. Майба // Железнодорожный транспорт. - 1998. - №12. - С. 30-31.
18. Богданов, В.М. Относительное проскальзывание в точках контакта колеса с рельсом [Текст] / В.М. Богданов, Д.П. Марков, И.А. Жаров, С.М. Захаров // Вестник ВНИИЖТ. – 1999. - №3. - С. 6-10.
19. Богданов, В.М. Снижение интенсивности износа гребней колес и бокового износа рельсов [Текст] / В.М. Богданов // Железнодорожный транспорт. - - 1992. - №12. - С. 30-34.
20. Богданов, В.М. Современные проблемы системы «колесо-рельс» Богданов В.М., Захаров С.М. // Железные дороги мира – 2004 - № 1 с.

57-62.

21. Боковой износ рельсов и гребней колесных пар подвижного состава в кривых [Текст] / под редакцией В.Г. Григоренко.- Хабаровск: 1991. - 143 с.
22. Бородич, С. А. Эконометрика [Текст]: учебное пособие для экономических специальностей вузов / С. А. Бородич. - Минск: Новое знание, 2006 . – 408 с.
23. Буйносов, А. П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения [Текст] / А. П. Буйносов // Железнодорожный транспорт. - 1994. - №10. - С. 39-41.
24. Вериги, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес [Текст] / М.Ф. Вериги. – М.: Художественная литература, 1997. - 207 с.
25. Вершинский, С.В. Устойчивость вагонов от выжимания продольными силами при торможении [Текст] / С.В. Вершинский // Динамика, прочность и устойчивость вагонов в тяжеловесных и скоростных поездах: Сб. науч. трудов. - М.: Транспорт, 1970. - С. 4-39.
26. Влияние смазки на взаимодействие подвижного состава и пути [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. - №9. - С. 74-78.
27. Воротилкин, А.В. Снижение износа в паре колесо-рельс путем использования новых смазочных композиций [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Воротилкин Алексей Валерьевич. – Иркутск, 2006. – 149 с.
28. Выбор стали для колес - альтернативы и возможности [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. - № 12. – С. 38 – 43.
29. Гаркунов, Д.Н. Водородное изнашивание пары трения «колесо-рельс» железнодорожного транспорта [Текст] / Д.Н. Гаркунов, В.И. Балабанов, С.М. Мамыкин и др. // Эффект безызносности и триботехнологии. – 2003. - №2. - С. 5-10.
30. Годин, А.М. Статистика [Текст] / А.М. Годин. - М.: Дашков и К°, 201.

- 460 с.

31. Голубенко, А. Л. Сцепление колеса с рельсом [Текст] / А.Л. Голубенко. - К.: ВИПОЛ, 1993. - 448 с.
32. Горский, А.В. Лазер делает колеса прочными [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьев, Б.М. Каунышев, В.П. Кельперис // Локомотив. - 1998. - №5. - С.30-31.
33. Горский, А.В. Оценка эффективности технологических методов снижения интенсивности износа бандажей колесных пар [Текст] / А.В. Горский, А.В. Воробьев // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
34. Гришин, А. Ф. Статистические модели в экономике [Текст] / А. Ф. Гришин, С. Ф. Котов-Дарти, В. Н. Ягунов. - М: Феникс, 2005. - 352 с.
35. Гришин, А. Ф. Статистические модели. Построение, оценка, анализ [Текст] / А. Ф. Гришин, Е. В. Кочерова. - М.: Финансы и статистика, 2005. - 416 с.
36. Грузовые железнодорожные компании Великобритании [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. - № 12. – С. 13 – 18.
37. Гусева, А.И. Имитационное моделирование триботехнических процессов как информационная составляющая экономического механизма управления ресурсами на железнодорожном транспорте [Текст] / А.И. Гусева, С.М. Бабан // «Современные реалии, тренды и инновации в управлении бизнес-процессами на транспорте»: Труды международной научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2014. – С. 28-32.
38. Гусева, А.И. Методы повышения эффективности использования технологии лубрикации в системе колесо-рельс [Текст] / А.И. Гусева // «Проблемы и перспективы развития транспорта»: Труды Международной научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2013. – С. 75-77.

39. Гусева, А.И. Комплексная ресурсно-экономическая оценка лубрикации в системе «колесо-рельс» [Текст] / А.И. Гусева // Транспортное дело России. – 2013. – № 6 (109), Часть 2. – С. 164-167.
40. Гусева, А.И. Методические подходы к оценке экономической эффективности ресурсосбережения на транспорте [Текст] / С.М. Бабан, А.И. Гусева, А.Т. Романова // Транспортное дело России. – 2014. – № 4 (113). – С. 27–31.
41. Гусева, А.И. Оптимизация процессов энергопотребления в системе колесо-рельс на основе эконометрических методов [Текст] / С.М. Бабан, А.И. Гусева, А.Т. Романова // Мир транспорта. – 2009. – № 3. – С. 102-106.
42. Гусева, А.И. Применение коэффициента использования энергоресурсов для оценки эффективности мероприятий по снижению потерь на трение [Текст] / А.И. Гусева, Ю.М. Лужнов, В.В. Раков // Транспорт. Наука, техника, управление. Сб. обзорной информации №3 – М.: ВИНТИ, 2003. - С. 33-34.
43. Гусева, А.И. Разработка механизма управления трибологическими технологиями в системе «колесо-рельс» как фактора обеспечения конкурентоспособности ОАО «РЖД» [Текст] / С.М. Бабан, А.И. Гусева // "Безопасность движения поездов 2012": Труды XIII Научно-практической конференции. - М.: МИИТ.: - 2012. – С. гл. XIV 214 - гл. XIV 215.
44. Гусева, А.И. Эконометраж трибологических процессов: связи и зависимость [Текст] / С.М. Бабан, А.И. Гусева, А.Т. Романова // Мир транспорта. - 2008. – № 3. – С. 73–77.
45. Гусева, А.И. Эконометрические модели трибологических процессов [Текст] / С.М. Бабан, А.И. Гусева, А.Т. Романова // Мир транспорта. – 2011. – № 1. – С. 25–27.
46. Дистанционный мониторинг технического состояния [Текст] // Железные дороги мира. – 2010. - №2. - С. 59-60.

47. Евдокимов, Ю. А. Износ железнодорожной техники. Пути снижения [Текст] / Ю.А. Евдокимов, И.А. Майба // Материалы международного научно-практического симпозиума Славянтрибо-3 "Технология и транспорт", кн. 1. - Рыбинск, 1995. - С. 35-37.
48. Евсеев, Д.Г. Технология восстановления твердосплавного инструмента для обточки колесных пар [Текст] / Д.Г. Евсеев, А.Ю. Попов // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
49. Елисеева, И. И. Эконометрика [Текст] / И. И. Елисеева. - М.: Финансы и статистика, 2003. – 344 с.
50. Ершков, О.П. Расчёты железнодорожного пути в кривых и нормы его устройства [Текст]/ О.П. Ершков, Л.П. Мелентьев, М.С. Яхов // Труды ВНИИЖТ. - 1960, Вып. 192.
51. Ефанов, А.Н. Экономическое обоснование мероприятий по улучшению эксплуатационной работы железных дорог [Текст] / А.Н. Ефанов, А.С. Квицинский, Ю.Ф. Кулаев . – М.: Транспорт, 1971. – 359 с.
52. Железнов, М. М. О создании диагностической системы мониторинга взаимодействия «колесо-рельс» [Текст] / М.М. Железнов. // Бюллетень Объединенного Ученого Совета ОАО «РЖД». - 2013. - №4. - С. 24-27.
53. Журавель, А. И. Методика оценки экономической эффективности инвестиций на железнодорожном транспорте. [Текст] / А.И. Журавель // Проблемы экономики и финансов на железных дорогах. Сборник научных трудов. СГАПС. - Новосибирск, 1996. - С. 4-20.
54. Зозуля, В.Д. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин [Текст] / В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровинский и др. - Киев.: Наукова думка, 1990. – 152 с.
55. Золотарский А.Ф. Износ и срок службы рельсов [Текст] / А.Ф. Золотарский// Вопросы и исследования работы рельсов: Сб. науч. трудов. - М.: Трансжелдориздат, 1946. - С. 4-87.

56. Измерение геометрии пути с учетом характеристик подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. - №8. - С. 74-77.
57. Иноземцев, В.Г. Трибосистема колодка-колесо-рельс [Текст] / В.Г. Иноземцев, С.Ю. Петров // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
58. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений на железнодорожном транспорте [Текст].- М.: Транспорт, 1973. – 199 с.
59. Карпущенко, Н.И. Параметры колеи и износ рельсов [Текст] / Н.И. Карпущенко // Путь и путевое хозяйство. - 1996. - №8. - С.6-8.
60. Киселев, С.Н. Перспективные направления работ в области повышения износостойкости, восстановления и упрочнения железнодорожных колес [Текст] / С.Н. Киселев. И.Л. Пашолок // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
61. Коган, А.Я. Воздействие на путь поездов повышенной массы на перевальных участках Львовской дороги [Текст] /А.Я. Коган, В.Н. Шестаков, В.А. Коваль. Сб. трудов ВНИИЖТ «Повышение прочности и надёжности пути»; под ред. В.С. Лысюка - М.: Транспорт, 1989. - 122 с.
62. Козырев, В. А. Условия эксплуатации железных дорог и капитальные вложения [Текст] / В.А. Козырев, Е.Н.Вавилов // Локомотив. – 1998. - № 10. - С. 38.
63. Колесин, Ю.В. Анализ причин интенсивного износа бандажей колесных пар тягового подвижного состава с целью увеличения срока их службы [Текст] / Ю.В. Колесин, В.В. Неглинский. // Отчет по научно-исследовательской работе. ВНИИЖТ. - М.: 1986.
64. Колесные пары для высокоскоростных поездов [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. - №8. – С. 64-68.

65. Комплексные результаты лубрикации рельсов в Северной Америке [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. - №1. - С.74-76.
66. Кондратенко, С.А. Прогнозирование сцепных свойств магистральных электровазов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук.: 05.22.07 / Кондратенко Сергей Александрович. - Ростов-на-Дону, 1999. – 160 с.
67. Контактно - усталостные повреждения колес грузовых вагонов [Текст] / Под ред. Зазарова С.М. – М.: Интекст, 2004. - 160 с.
68. Концепция национальной безопасности Российской Федерации в редакции Указа Президента РФ от 10 января 2000 г. № 24.
69. Корольков, Е.П. Изменение профиля катания колеса как мера снижения затрат электроэнергии, топливных и материальных ресурсов [Текст] / Е.П. Корольков // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
70. Корольков, Е.П. Снижение износа колес железнодорожного подвижного состава при конструктивных изменениях ходовых частей [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Корольков Евгений Павлович. - М., 1997. - 229 с.
71. Крагельский, И. В. Трение и износ [Текст] / И. В. Крагельский. - М.: Машиностроение, 1968. - 123 с.
72. Кручкович, М.Г. Поверхностное упрочнение деталей подвижного состава - эффективный способ ресурсосбережения [Текст] / М.Г. Кручкович, И.А.Коваленко // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
73. Курицкий, Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0 [Текст] / Б.Я. Курицкий. - СПб.: ВHV - Санкт-Петербург, 1997. - 384 с.
74. Лисицын, А.Л. Ресурсосберегающие технологии - основа издержек на железнодорожном транспорте [Текст] / А.Л. Лисицын. // Экономика железных дорог. - 1999. - №1. - С. 32 - 42.

75. Лужнов, Ю.М. Исследование причин роста числа выпербин на бандажах локомотивов на Северной железной дороге: Отчет о НИР [Текст] / Ю.М. Лужнов. - М.: МИИТ, 1976. – 42 с.
76. Лужнов, Ю.М. Теплофизические основы трибологического взаимодействия колес подвижного состава и рельсов на железнодорожном транспорте [Текст] / Ю.М. Лужнов, А.В. Чичинадзе, О.А. Говорков, А.Т. Романова // Труды международной конференции «Проблемы взаимодействия колеса и рельса» ИННА '99. - М., 1999.
77. Лужнов, Ю.М. Статистическая оценка влияния факторов на коэффициент сцепления локомотивов [Текст] / Ю.М. Лужнов, В.А. Попов, Н.А. Сазонова // Труды научно-технической конференции "Создание и техническое обслуживание локомотивов большой мощности". - Ворошиловград: ВПИ, 1985. - С. 46.
78. Лужнов, Ю.М. Исследование причин роста числа выпербин на бандажах локомотивов на Северной железной дороге: Отчет о НИР [Текст] / Ю.М. Лужнов. – М.: МИИТ, 1976. - 42 с.
79. Лужнов, Ю.М. Сцепление колес с рельсами (природа и закономерности) [Текст] / Ю.М. Лужнов. - М.: Интекс, 2003. - 144 с.
80. Лужнов, Ю.М. Физические основы и закономерности сцепления колес локомотивов с рельсами ресурсы [Текст]: дис... д-ра техн. наук. / Лужнов Юрий Михайлович. - М.: МИИТ, 1978. – 230 с.
81. Лысюк, В.С. Причины и механизм бокового износа рельсов и гребней колес [Текст] / В.С.Лысюк // Путь и путевое хозяйство. - 1997. - №1. – С. 33.
82. Лысюк, В.С. Причины и механизм схода колеса с рельса. Проблема износа колес и рельсов [Текст] / В.С. Лысюк. - М.: Транспорт, 1997. – 76 с.
83. Мазилкина, Е. И. Управление конкурентоспособностью [Текст] / Е. И. Мазилкина, Г. Г. Паничкина. - М.: Омега-Л, 2009. - 328 с.
84. Майба, И.А. Повышение эксплуатационной эффективности фрикционных систем железнодорожного подвижного состава [Текст]: монография / И.А. Майба. - М.: Маршрут, 2005. – 216 с.

85. Мантурова, Е.А. Применение лубрикации в целях повышения ресурса колесных пар тяговых агрегатов [Текст] / Е.А. Мантурова // Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса: образование, наука, производство : Труды Международной научно-практ. конференции. РГУПС. - Ростов н/Д.: 2009. - С. 88- 89.
86. Марков, Д. П. Закалка гребней колес подвижного состава на высокую твердость для снижения бокового износа [Текст] / Марков Д. П. // Вестник ВНИИЖТ. - 1997. - №1. - С. 36 - 42.
87. Марков, Д.П. Повышение твердости колес подвижного состава (предпосылки и перспективы) [Текст] / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ, - 1995, - №3. - С. 10-17.
88. Марков, Д.П. Адгезинно-инициируемые типы катастрофического изнашивания [Текст] / Д.П. Марков, Д. Келли // Трение и износ. - 2002. - № 5. - С. 483-493.
89. Марков, Д.П. Взаимосвязь коэффициента трения с проскальзыванием в условиях взаимодействия колеса с рельсом [Текст] / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ.- 2003. - №3.
90. Марков, Д.П. Закалка гребней колес подвижного состава на высокую твердость для снижения бокового износа [Текст] / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. - 1997. - №1. - С.36-42.
91. Марков, Д.П. Повышение твердости колес подвижного состава [Текст] / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. - 1995. - №3. - С.10-17.
92. Математическое моделирование экономических процессов на железнодорожном транспорте. Под ред А.Б. Каплана [Текст]: учебник для вузов ж.д. транспорта / А.Б. Каплан, А.Д. Майданов, А.М. Макаровичкин, Р.М. Царев. – М.: Транспорт, 1984. - 256 с.
93. Мелентьев, Л.П. Взаимодействие колес с рельсами и их износ [Текст] / Л.П. Мелентьев // Путь и путевое хозяйство. - 1999. - №5. – С. 6-16.
94. Мелентьев, Л.П. Рельс и колесо. Как улучшить взаимодействие [Текст] / Л.П. Мелентьев // Путь и путевое хозяйство. - 1993. - №6. – С. 14-17.

95. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений [Текст]. - М.: Экономика, 1977. - 45 с.
96. Методика технико-экономического сравнительного анализа эксплуатационных показателей до и после перехода на колею 1520 мм [Текст]. – М.: ВНИИЖТ, 2007.
97. Методические рекомендации по определению экономической эффективности научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте [Текст]. - М.: Транспорт, 1991. - 140 с.
98. Методы измерения сил в контакте колесо-рельс [Текст] // Железные дороги мира. – 2008. - №12. – С. 61-63.
99. Мильнер, Б.З. Теория организации ДОС [Текст] / Б.З. Мильнер. - М.: Инфра-М, 2006. - 864 с.
100. Митрохин, А.Н. «Колесо-рельс»: требуется более совершенная теория [Текст] / А.Н.Митрохин // Железнодорожный транспорт. - 1998. - №7. - С. 41-44.
101. Моделирование системы колесо-рельс [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. - №2. - С. 45-52.
102. Моделирование экономических процессов на железнодорожном транспорте. Под ред. И.В. Белова, А.М. Макаровича [Текст] / М.: Транспорт, 1977. – 246 с.
103. Мугинштейн, Л.А. Технические и экономические проблемы сцепления колесных пар локомотивов с рельсами [Текст] / Л.А. Мугинштейн // Труды международной конференции «Проблемы взаимодействия колеса и рельса» ИННА '99. - М.: 1999. - С. 307-312.
104. Никифоров, Б.Д. Причины и способы предупреждения износа гребней колесных пар [Текст] / Б.Д. Никифоров // Железнодорожный транспорт. - 1993. - №7. - С. 37-40.
105. Нирконэн, В.Т. Повышенный износ колесных пар и рельсов [Текст] /

- В.Т. Нирконэн // Путь и путевое хозяйство. – 2009 - № 9. - с. 13-14.
106. О'Шонесси, Дж. Конкурентный маркетинг: стратегический подход [Текст]: пер. с англ. под ред. Д.О. Ямпольской. – СПб: Питер, 2001. – 864 с.
 107. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: Пер с англ. [Текст] / У.Дж.Харрис, С.М. Захаров, Дж.Ландгрэн, Х. Турне, В. Эберсен. - М.: Интекст, 2002. – 408 с.
 108. Обухов, В.П. Оперативное нормирование энергозатрат в тяге поездов как существенный резерв энергосбережения [Текст] / В.П. Обухов // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
 109. «Высокотехнологичные материалы». Электронный ресурс <http://www.vtmat.com/ru/>
 110. Оптимизация конструкции и содержания пути для высоких осевых нагрузок [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. - № 6. - С. 70-76.
 111. Оптимизация профилей колес и рельсов [Текст] // Железные дороги мира. - 2007. - № 10. - С. 62 - 64.
 112. Официальный сайт ОАО «РЖД» [электронный ресурс] режим доступа: www.rzd.ru.
 113. Пашолок, И.Л. О возможном повышении износостойкости железнодорожных колес [Текст] / И.Л. Пашолок, В.Б. Харитонов // Вестник ВНИИЖТ. - 1997. - №1. - С. 32-36.
 114. Персианов, В.А. Моделирование транспортных систем [Текст] / В.А. Персианов, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков. - М.: Транспорт, 1972. - 208 с.
 115. Петров, С.Ю. Закономерности протекания процессов при работе трибосистемы колодка-колесо-рельс и пути повышения ее долговечности [Текст]: дис... д-ра техн. наук: 05.02.04 / Петров Сергей Юрьевич. - М., 2002. - 350 с.
 116. Повышение надежности и срока службы колесных пар и рельсов

- [Текст] // Железные дороги мира. – 2011. - № 3. - С. 54-61.
117. Портер, М. Конкуренция [Текст]: учеб. пособие; пер. с англ. / М. Портер. - М.: Изд. Дом Вильямс, 2000. – 495 с.
 118. Проблемы взаимодействия в системе колесо-рельс [Текст] // Железные дороги мира. – 2010. - №8. - С. 71-74.
 119. Продление срока службы колес [Текст] // Железные дороги мира. – 2010. - № 11. - С. 66-74.
 120. Проект методики оценки эффективности использования лубрикации системы «колесо-рельс» в структурных подразделениях филиалов ОАО «РЖД» [Текст]. – М.: 2012.
 121. Путь измерительные системы на железных дорогах Северной Америки [Текст] // Железные дороги мира. - 2005. - № 10. - С. 68-70.
 122. Работа системы колесо-рельс при повышенных осевых нагрузках [Текст] // Железные дороги мира. - 1999. - № 9. - С. 51-55.
 123. Раков, В.В. Экономическая оценка резервов повышения эффективности использования локомотивов [Текст]: дис. ...канд. экон. наук: 08.00.05 / Раков Виктор Викторович. – М., 2004. – 176 с.
 124. Распоряжение ОАО «РЖД» от 09.10.2012 г. №1998р «Об утверждении методики оценки энергоэффективности применения лубрикации контакта «колесо-рельс».
 125. Расчетные нагрузки для осей колесных пар [Текст] // Железные дороги мира. – 2011. - № 2. - С. 36-40.
 126. Расчетные нагрузки для осей колесных пар [Текст] // Железные дороги мира. – 2011. - № 1. - с. 54-58.
 127. Ребиндер, П.А, Поверхностные явления в твердых телах в процессе их деформации и разрушения [Текст] / П.А. Ребиндер, Е.Д. Щукин // Успехи физических наук. – 1972. - С. 3-42.
 128. Регулирование трения в системе колесо-рельс [Текст] // Железные дороги мира. – 2009. - № 7. – С. 71-77.
 129. Рельсовая сталь для высокоскоростных линий [Текст] // Железные

- дороги мира. – 2006. - № 11. - С.71-77.
130. Рельсовые лубрикаторы и модификаторы трения [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. - № 7. - С. 70-73.
 131. Романова, А. Т. Мероприятия по сокращению энергозатрат, связанных с преодолением сил трения [Текст] / А.Т. Романова, Г.П. Мокриденко. // Сб. докладов международной конференции по экономии энергоресурсов и смазочных материалов. – Гардоньи. Венгрия, 1990. - С.82-87.
 132. Романова, А.Т. Взаимозависимость показателей экономической эффективности работы железнодорожного транспорта и затрат, связанных с работой по преодолению сил трения // "INSYCONT 94": Труды IV международной конференции по трибологии. - Краков: Польша, 1994. - С. 252-259.
 133. Романова, А.Т. Влияние триботехнических потерь на экономические показатели железнодорожного транспорта России [Текст] / А.Т. Романова, Ю.М. Лужнов, А.В. Чичинадзе // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
 134. Романова, А.Т. Экономическое прогнозирование топливно-энергетического баланса железнодорожного транспорта в условиях научно-технического прогресса и ограничений на ресурсы [Текст]: дис... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Романова Алина Терентьевна. - М., 1995. - 350 с.
 135. Савоськин, А.Н. Повышение эффективности использования сцепной массы локомотива на основе применения системы поосного управления силой тяги [Текст] / А.Н. Савоськин, В.С. Островский // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
 136. Сашко, А.А. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов технологическими мероприятиями в условиях

- локомотивного депо [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Сашко Александр Андреевич. – М., 1999. – 29 с.
137. Система колесо-рельс с точки зрения путевого хозяйства [Текст] // Железные дороги мира. - 2005. - № 10. - С. 64 - 68.
 138. Система наклона кузовов вагонов поезда Talgo Pendular [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. - № 4. - С. 39-41.
 139. Сливец, Д.П. О ширине колеи [Текст] / Д.П. Сливец, А.Н. Лаврик // Путь и путевое хозяйство. - 1998. - №9. - С. 15.
 140. Сливец, Д.П. Смазка против износа [Текст] / Д.П. Сливец // Путь и путевое хозяйство. - 1997.- №5. - С. 31-32.
 141. Смазывание гребней бандажей и стрелочных переводов на железных дорогах Германии [Текст] // Железные дороги мира. – 2008. - №8. – С. 74-78.
 142. Смехова, Н.Г. Себестоимость железнодорожных перевозок [Текст]: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Н.Г. Смехова, А.И. Купоров, Ю.Н. Кожевников и др.; под ред. Н.Г. Смеховой и А.И. Купорова. - М.: Маршрут, 2003.- 494 с.
 143. Снижение уровня шума в кривых [Текст] // Железные дороги мира. – 2009. - № 6. – С. 70-76.
 144. Совершенствование ходовой части грузовых вагонов с рессорно-поводковым подвешиванием [Текст] // Железные дороги мира. – 2009. - №6. - С. 53-62.
 145. Стандарт ОАО «РЖД» СТО РЖД 02.037-2011. Управление ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла (УРРАН). Управление стоимостью жизненного цикла систем, устройств и оборудования хозяйств ОАО «РЖД». Утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «РЖД» от «22» марта 2012 № 560р.
 146. Стенд для исследования системы колесо-рельс [Текст] // Железные дороги мира. – 2005. - № 4. – С. 41-46.
 147. Стратегический менеджмент [Текст] / под ред. А.Н. Петрова. - СПб.:

Питер, 2005. - 496 с.

148. Стратегия инновационного развития ОАО "Российские железные дороги" на период до 2015 года (Белая книга ОАО "РЖД").
149. Терешина, Н.П. Экономика железнодорожного транспорта [Текст]: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Н.П. Терешина, Л.П. Левицкая, Л.В. Шкурина // – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. - 536 с.
150. Троицкий, А.А. О повышении ресурса колесных пар на московской железной дороге [Текст] / А.А.Троицкий, П.П. Иванов, Э.Х. Исакаев, АЭ. Яблонский // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
151. Тютин, В.И. Повышение ресурса бандажей колесных пар локомотивов за счет применения оптимальных методов их обточки в депо [Текст] / В.И. Тютин, И.В. Дембицкий, М.А. Швецова //Сборник научных трудов. Совершенствование системы ремонта и технического обслуживания тепловозов. - М.: Транспорт, 1995. - С. 146-148.
152. Управление трением на поверхности катания рельсов [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. - № 4. - С. 68-72.
153. Урушев, С.В. Разработка ресурсосберегающих технологий ремонта колес железнодорожного подвижного состава [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / Урушев Сергей Викторович. – СПб., 2000. - 451 с.
154. Урушев, С.В. Ресурсосберегающая технология ремонта колесных пар без смены элементов [Текст] / С.В. Урушев // Материалы научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». - М.: МГУПС (МИИТ), 1998.
155. Усталостные повреждения рельсов [Текст] // Железные дороги мира. – 2011. - №6. - С. 69-75.
156. Чичинадзе, А. В. Основы трибологии (трение, износ, смазка) [Текст]:

- учебник для технических вузов. 2-е изд. переработ, и доп. / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др.; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 2001. - 664 с.
157. Чкалов, Л.П. Лазерное упрочнение колес и рельсов [Текст] / Л.П. Чкалов, М.И. Квасов, О.Х. Шарадзе, С.К. Байко // Железнодорожный транспорт. - 1998. - №2. – С. 31-36.
 158. Шакина, А.В. Исследование механизмов изнашивания рельсов в криволинейных участках пути на примере Дальневосточной железной дороги [Текст] / А.В. Шакина, С.В. Биленко, В.С. Фадеев и др. // Фундаментальные исследования. – 2013. - №4. часть 5. - с.1103-1108.
 159. Шаповалов, В.В. Повышение эффективности лубрикации [Текст] / В.В. Шаповалов, Ю.А. Евдакимов, В.М. Богданов и др. // Железнодорожный транспорт. - 1993. - №7. - С. 40-43.
 160. Шафиркин, Б. И. Транспортные затраты народного хозяйства и пути их сокращения [Текст] / Б.И. Шафиркин. - М.: Транспорт, 1975.
 161. Шишков, А.Д. Народнохозяйственная эффективность повышения надежности технических средств железнодорожного транспорта [Текст] / А.Д. Шишков. - М.: Транспорт, 1988. - 183 с.
 162. Шлифование рельсов как компонент эффективного текущего содержания пути [Текст] // Железные дороги мира. – 2009. - № 1. - С. 67-75.
 163. Шлифование рельсов на железных дорогах Швеции [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. - № 4. - С. 75-78.
 164. Электропоезда из Японии для железных дорог Великобритании [Текст] // Железные дороги мира. – 2006. - № 9. – С. 58 – 58

Приложение 1

Обобщение зарубежного опыта применения триботехнических мероприятий в системе «колесо-рельс»

Мероприятия	Результат	Компания, институт, страна
1. Исследования динамики процессов в системе колесо-рельс		
Для улучшения содержания системы колесо-рельс разработана программа мониторинга в системе TrackIT компании ENSCO	1.Обеспечивает беспроводную передачу данных в широком диапазоне – от геометрии пути и изменения профиля рельсов до планов текущего содержания пути на железных дорогах США и Канады. 2.Создает возможности экономии финансовых средств за счет оптимального поддержания состояния инфраструктуры с учетом геометрии пути	Железнодорожная компания Canadian National и специалисты ENSCO Канады [121]
Разработана и функционирует система полного управления трением (Total Friction Management, TFM), на железных дорогах США первого класса с движением тяжелых грузовых поездов	Обеспечивает гибкий и при этом точный контроль трения, как на рабочих гранях, так и на поверхностях катания рельсов	Железные дороги первого класса США [152, 137]
Широкое применение технологий проектирования и изготовления конструктивных элементов в системе колесо-рельс для высокоскоростных поездов, разработанные SNCF, компаниями Alstom и Valdunes	Определяют высокий уровень надежности высокоскоростных поездов и их конструктивных элементов за счет совершенствования профиля колеса, улучшения геометрических параметров, балансировки и повышения качества используемых материалов.	Франция. SNCF, Alstom и Valdunes. [64, 111]
Применение систем контроля состояния пути по технологии измерения геометрических параметров пути с учетом условий эксплуатации по методике PBTG	Моделирует прогнозы вероятностей сходов подвижного состава с рельсов, вызываемых отклонениями в геометрических параметрах пути	Центр транспортных технологий (TTC) и железнодорожная компания Burlington Northern Santa Fe (BNSF) [56]

Внедрение в эксплуатацию оптимизированного вагонного колеса, Предназначенного для грузового подвижного состава с высокой осевой нагрузкой (25 т и более) и колодочными тормозами	Обеспечивает увеличенный срок службы и рассчитано для экстремальных нагрузок	Чехия. Компания Bonatrans [116]
2. Моделирование с использованием теорий механики контактного взаимодействия		
Применение стационарной автоматизированной системы измерения в контакте колесо-рельс для моделирование сил в точках контакта колес с рельсами	С помощью системы для определения сил в точках контакта колес с рельсами в автоматическом режиме одновременно определяются и регистрируются силы, действующие в зонах контакта всех колес с рельсами. При этом перемещение испытываемого локомотива не требуется	Локомотивное депо Дессау компании DB Fahrzeuginstandhaltung, входящей в состав холдинга DB [98, 125]
Применение системы диагностики и управления поведением движения экипажа в колее в рамках научно-исследовательского проекта Sichere und ökologische Bahn («Надежные и экологичные железные дороги»)	1.С помощью системы контроля обнаруживаются дефекты, а поврежденные детали подвижного состава направляются в ремонт. 2.Позволяет снизить затраты на содержание верхнего строения пути, и подвижного состава, оказывает положительное влияние на эффективность системы колесо - рельс	Компания DB Systemtechnik, входящая в состав холдинга DBAG, Германия [152]
Применение противоюзовой защиты	Оснащение грузовых вагонов тележками типа TF25 системой защиты от проскальзывания колесных пар	Freightliner (Великобритания) [36, 164]
Применение компьютерных программ моделирования динамики железнодорожного подвижного состава, в том числе моделирование трения в системы колесо-рельс выполняются с помощью пяти основных пакетов -VAMPIRE (Великобритания), GENSYS (Швеция), SIMPACK (Германия), ADAMS/Rail/MEDYNA (Германия) и NUCARS (США).	Для каждого исследуемого участка пути и конкретного типа подвижного состава могут быть получены результаты: - прогнозирование контактной усталости при качении; - моделирование изнашивания; - моделирование в реальном масштабе времени.	Великобритания, Швеция, Германия, США [137, 144]

Применение компьютерных программ по моделированию прогрессирующего износа в целях получения достоверной информации о поведении колес и механизме их повреждаемости выполнено для подвижного состава нескольких типов в поездах различной составности, используемых в разных режимах эксплуатации.	1. Обеспечивает возможности оптимизации процесса взаимодействия колес с рельсами для сокращения затрат жизненного цикла перспективного подвижного состава. 2. Повышает точность прогнозирования темпа износа колес и позволяет существенно повысить качество планирования их технического обслуживания и замены.	Bombardier (ФРГ) и Королевский технологический институт (КТИ) Швеции в Стокгольме [119, 126]
Модернизации ходовой части грузовых вагонов с рессорно-поводковым подвешиванием путем их оснащения гидравлическими гасителями колебаний (демпферами)	1. Улучшение ходовых качеств грузовых вагонов для использования в новых, перспективных сегментах рынка железнодорожных перевозок массовых грузов. 2. Уменьшение воздействия подвижного состава на путь.	Национальная железнодорожная администрация Швеции (SNRA), и компании Green Cargo, Interfleet Technology, Kockums Industrier, Dellner Dampers и Tikab Strukturmekanik. [144]
3. Совершенствование материалов колес и рельсов		
Использование испытательного стенда для исследования материаловедческих аспектов на основе моделирования различных режимов работы системы «колесо – рельс»	1. Повышает эффективность исследования материаловедческих аспектов системы. 2. Позволяет проводить количественный анализ процессов износа и усталости металла в зоне контакта колеса с рельсом. 3. Дает возможность устанавливать соответствие между необходимым объемом мероприятий по текущему содержанию компонентов системы колесо - рельс с учетом предельно допустимых эксплуатационных параметров с одной стороны, и современных эксплуатационных требований, с другой.	Исследовательский-технологический центр DBAG (FTZ) с компаниями Renk (Аугсбург), и IABG (Оттобрунн) [138, 146]
Внедрение новых колесных сталей	Испытания на стенде и в эксперименте под промежуточными вагонами	Германия [28]

японского производства на железных дорогах Германии (DBAG)	высокоскоростных поездов семейства ICE показали целесообразность поэтапного внедрения колес на наиболее ответственных направлениях(высокоскоростных) из стали Shinkansen (S2 и S3) японского производства вместо применяемых колес на железных дорогах Германии из стали R7 из-за того, что для них обточка колес требовалась значительно реже, чем для колес из стали R7.	
Внедрение новых рельсовых сталей марок PD2 и PD3 на высокоскоростных железных дорогах Китая	Увеличение срока службы рельсов за счет повышенной усталости прочности и сопротивляемости ударным нагрузкам	[129]
Разработка и применение оптимизированной стратегии обточки методом шлифования поверхности катания головки рельсов	1.Заметно уменьшает число дефектов рельсов обусловленных такими контактно-усталостными факторами как образование сетки трещин, отслаивание и выкрашивание металла головки,. Исследования Дж. Элкинса и др. (J. Elkins et al.) и П. Ваара (P. Waara) показали, что правильное применение лубрикации и шлифования позволяет снизить темп износа почти в 20 раз. 2.Увеличивает срок службы пути в кривых радиусом более 1000 м, в пересчете на пропущенную поездную нагрузку с 15 – 40 млн. до 1,0 млрд. т. По данным железной дороги Burlington Northern Santa Fe (BNSF, США). Требует значительных капитальных вложений на привлечение зарубежных компаний для выполнения шлифования головок рельсов. Для сети DB при расчетных годовых потребностях в финансировании шлифования рельсов на уровне 50 млн. - 60 млн. евро это позволит гарантированно экономить около 8,4 млн. евро в год. По результатам серии испытаний, проведенных Научно-исследовательским институтом железнодорожной техники Японии (RTRI), снятие с рабочей поверхности головки рельса слоя металла толщиной 0,1 мм после пропуска поездной нагрузки 50 млн. т сокращает возникновение усталостных дефектов примерно на 50 %.	Северо-Американские, Европейские, Японские железные дороги, [163, 110, 162, 155]
4. Применение лубрикации		
Усовершенствование своего оборудования, устанавливаемого на перегонах.	1. Предложила новый рельсовый лубрикатор типа Lubricurve Electro 20 (LE 20) с электрическим приводом и дистанционным контролем. Отличительными особенностями этой установки являются большая (до	L. B. Foster (LBF) [128, 130, 65, 152]

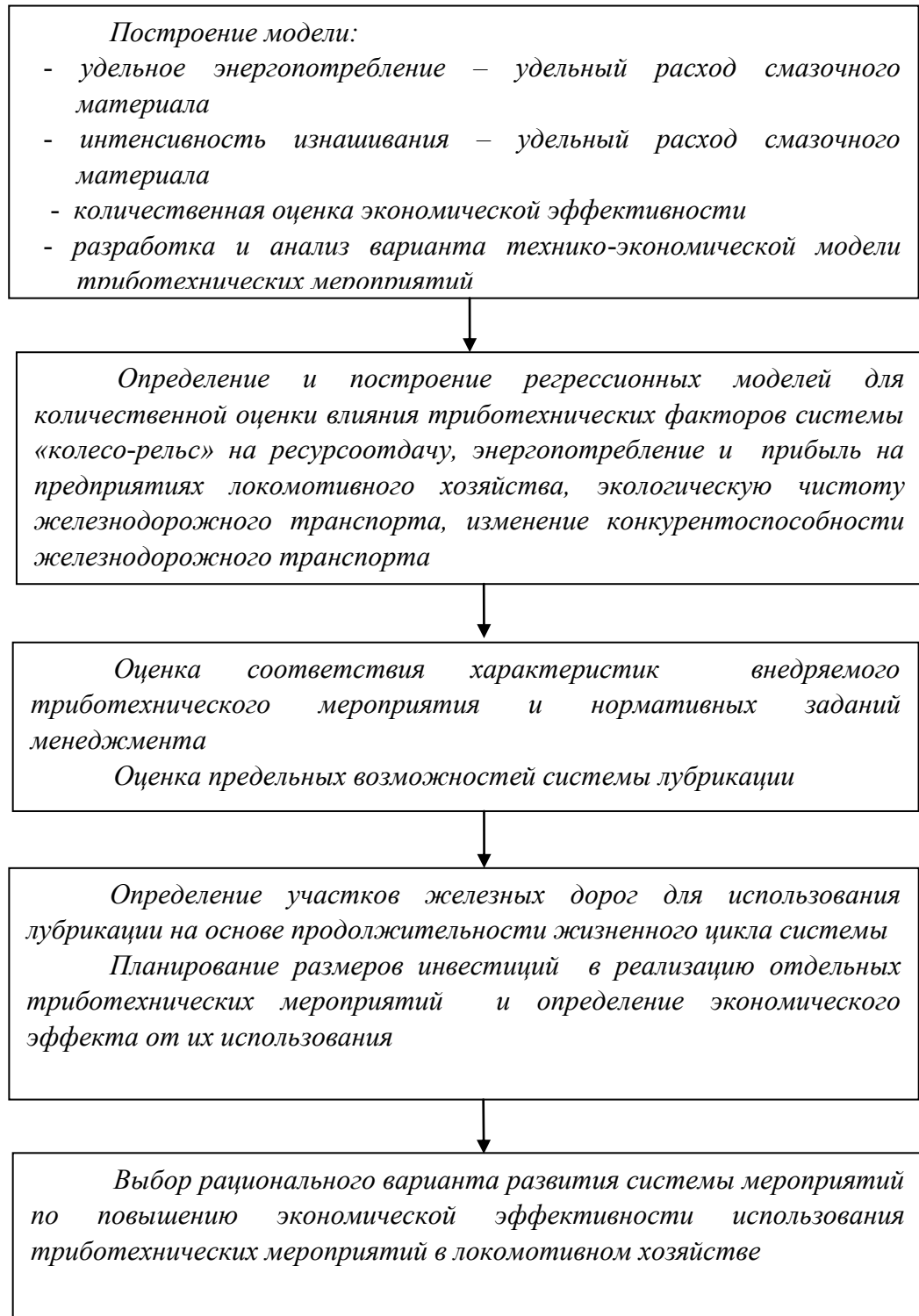
	30,5 м) длина напорного трубопровода, быстрый и легкий монтаж, наличие интегрированной опоры, малые габариты, простое текущее содержание, прочный и защищенный от коррозии корпус, возможность выбора конструкции распределителя смазки, а также источника питания электропривода, возможность использования различных маслораспределительных блоков, оснащение бесконтактными индуктивными датчиками прохода колес, комплектация масляными резервуарами вместимостью до 180 кг, система заправки, исключая утечки масла, простое компьютеризированное управление, противовандальная дверца корпуса. 2. Использование оригинального эффективного скребка для удаления излишков смазки, получившего обозначение EASi-BLADE. Его использование возможно на всех эксплуатируемых в настоящее время рельсовых лубрикаторах.	
Разработка рельсового лубрикатора с питанием электрического привода от солнечной батареи с использованием современных устройств сбора и передачи информации.	1. За счет использования оборудования LI возможно существенное снижение эксплуатационных расходов за счет сокращения потребления дизельного топлива тепловозами, уменьшение расхода смазки лубрикаторами и увеличение срока службы рельсов за счет регулирования коэффициента сцепления колес с рельсами в определенных пределах. 2. Сокращено их общее число, что стало возможным благодаря более эффективному распределению смазочного материала в кривых участках пути.	Lincoln Industrial США
Разработка новых смазочных материалов в области консистентной смазки на основе нефти и твердых смазок. Использование устройства типа Solidstick для смазки гребней колес.	1. <u>Модификаторы трения</u> - сухие вещества, масла на основе нефти или соевого масла. Разработанный для этого устройства и запатентованный твердый смазочный материал на основе полимерной матричной структуры с высоким содержанием бисульфата молибдена весьма эффективен и работоспособен при высоких температурах и давлении в области контакта до 35 150 кг/см². По заключению специалистов железных дорог Burlington Northern Santa Fe (BNSF) и Canadian National (CN), использование комбинированного смазывания рельсов и колес существенно уменьшает износ в системе	MPL Technology (Сиэтл, штат Вашингтон) совместно с теплотехнической службой железной дороги Union Pacific (UP)

	колесо - рельс, расход топлива на тягу поездов и вредное воздействие на окружающую среду, снижая, в частности, уровень шума. 2. В течение 13 лет поставляет железным дорогам Burlington Northern Santa Fe (BNSF), Canadian National (CN), Canadian Pacific (CP), Union Pacific (UP) и Norfolk Southern (NS) с особо тяжелыми режимами эксплуатации систему Solidstick для смазки гребней колес. Эта система была установлена более чем на 6000 локомотивах железных дорог США, Канады, Бразилии и Мексики. Все используемые в устройствах компании твердые смазочные материалы, изготавливаемые в виде стержней. Результаты экспериментов на железных дорогах Burlington Northern Santa Fe, Duluth, Missabe & Iron Range (обе — США) и ALL (Бразилия) компания MPL Technology проанализировала для количественной оценки влияния применения материала Solidstick на экономию топлива на тягу поездов. Все испытания дали положительные результаты с определенным разбросом экономии — от 40 до 20 %. Испытания на DM&IR в зависимости от крутизны уклонов и радиуса кривых показали сокращение потребления топлива от 6 до 12 %. 3. Низкое качество технического обслуживания мобильных лубрикаторов; 4. Отсутствуют универсальные модификаторы трения и устройства его нанесения.	
Разработка установки типа Protector IV с использованием приспособления GreaseGuide	1. Позволяет управлять трением в системе колесо - рельс на перегонах. 2. Использование приспособления GreaseGuide обеспечивает подачу смазки в активную зону, где она попадает на поверхность колес независимо от их расположения относительно рельса, дает возможность улучшить рабочие параметры устройства и при низком размещении питателя за счет применения простого и недорогого приспособления, обеспечивает такой же эффект, как четыре таких же питателя без данного приспособления.	Portec Rail Products (PRP) США
Основной производитель и поставщик смазочных материалов для лубрикаторов железных дорог США.	1. Kelsan создал ряд тонкопленочных модификаторов трения, применение которых дает весомый экономический эффект за счет уменьшения поперечных сил, действующих в системе колесо - рельс, и, соответственно, износа рельсов (в том числе волнообразного) и колес,	Kelsan- Technologies США [118]

	предотвращения возникновения и распространения проявлений контактной усталости качения, существенного снижения уровня шума (скрипа), излучаемого подвижным составом при движении в кривых, а также сокращения расхода топлива на тягу поездов.	
Разработка и внедрение установки типа Switch-Enhancer, YardGlide и смазочный материал марки TORCL.	1. Уменьшает сопротивление вагонов движению и вероятность возникновения боксования тяговых средств, повышает производительность маневровых операций и снижает расходы на закупку модификаторов. 2. Обеспечивает автоматическое смазывание стрелочных переводов на участках с высокой интенсивностью движения, где межпоездные интервалы слишком непродолжительны для выполнения этой операции вручную. Автоматическое смазывание стрелок обеспечивает их плавную работу, продлевает жизненный цикл и снижает уровень сил во взаимодействии подвижного состава и пути. 3. Поставляет смазочный материал марки TORCL, который является эффективным дополнением к разработанному ранее модификатору трения марки TORFM. Указанные смазочные материалы, поскольку они экологичны, биоразлагаемы, не требуют зачистки излишков после нанесения и эффективно работают при минусовых температурах окружающего воздуха.	Tranergy США
На железных дорогах Германии используют лубрикаторы двухканального и одноканального типов для смазывания гребней бандажей, расположенные на подвижном составе (тяговом, в вагонах с кабинами управления, иногда и на грузовых вагонах).	Для дозирования пластичной смазки в двухканальных лубрикаторах предусмотрена специальная камера в сопле или кольцевой дозировочный паз в поршне сопла. Одноканальные лубрикаторы практически непрерывно наносят смазку, которая транспортируется по стенкам канала потоком воздуха. Смазывается, как правило, передняя колесная пара, а на гребни других бандажей тягового подвижного состава и последующих вагонов наносится смазка, осевшая на боковой поверхности головки рельса. Расход смазки в среднем составляет 0,03 г на 250 м, а во многих случаях — даже на 1000 м.	Холдинг железных дорог Германии (DB) [101, 141]
Испытания смазок для стрелочных переводов на специальной машине WESP.	Выдача разрешения на применение в эксплуатации той или иной смазки проводится на основании комплексных испытаний: лабораторных с использованием специальной машины WESP и эксплуатационных в летнее и зимнее время на большом числе	Холдинг железных дорог Германии (DB) [126, 101]

	стрелочных переводов, по возможности распределенных по разным регионам.	
Проведение исследований, направленных на улучшение параметров взаимодействия колес и рельсов путем использования смазочных материалов	Анализ влияния смазывания поверхности катания внутреннего рельса на снижение поперечных сил в целом показал: - смазывание может способствовать решению многих проблем, связанных с движением в кривых; - смазывание рабочей грани наружного рельса эффективно в отношении снижения износа, несмотря на увеличение поперечных сил; - смазочный материал должен иметь такие характеристики, чтобы не ухудшать условия тяги по сцеплению при высоком коэффициенте проскальзывания между колесами и рельсами.	Научно-исследовательский институт железнодорожной техники (RTRI) и компания JR West. Япония [26]
Лубрикация поверхности с целью уменьшения скрежета и шума при прохождении поездов кривых участков пути	Повышение эффективности мер по борьбе с шумом и со скрежетом в кривых	Франция. SNCF – государственное предприятие, управляющее железными дорогами Франции. [143]

Укрупненный алгоритм оценки эффективности применения лубрикации



**Исходные данные для решения системы сверхидентифицируемых уравнений для
депо Бекасово, удельный (расход смазочного материала 7,00-10,00 кг)**

Участковая скорость, км/ч	Смазочный материал, кг/ км	Вес поезда, т	Сезонность	Интенсивность изнашивания, мм/10 тыс.лок- км	Удельный расход электроэнергии , кВт ч/10 тыс.ткм брутто
X1	X2	X3	X4	Y1	Y2
50	10,113	3555	1	0,226	111
50	10,113	3555	0	0,226	107
50	10,113	3555	1	0,226	110
48,2	9,3	3400	1	0,235	108
48,2	9,3	3400	0	0,235	107
48,2	9,3	3400	0	0,235	100
48,2	9,3	3400	0	0,235	101
48,2	9,3	3400	1	0,235	108
47,5	9,859	3564	1	0,235	105
47,5	9,859	3564	0	0,235	102
47,5	9,859	3564	1	0,235	110
47,5	9,859	3564	1	0,235	106
46,6	8,917	3679	1	0,244	105
46,6	8,917	3679	1	0,244	107
46,6	8,917	3679	0	0,244	99
46,6	8,917	3679	0	0,244	98
46,6	8,917	3679	0	0,244	95
46,6	8,917	3679	1	0,244	103
46,6	8,917	3679	1	0,244	100
46,5	9,043	3650	0	0,244	97
46,5	9,043	3650	0	0,244	99
48,3	7,8	3500	1	0,253	102,8
48,3	7,8	3500	1	0,253	102,8
48,3	7,8	3500	1	0,253	102,8
47,8	8,882	3635	1	0,253	101
47,8	8,882	3635	1	0,253	101
47,8	8,882	3635	0	0,253	98
47,8	8,882	3635	0	0,253	98
47,8	8,882	3635	1	0,253	103,4
47,8	8,882	3635	1	0,253	103,4
47,8	8,882	3635	0	0,253	96
49,8	8,898	3709	1	0,262	102
49,8	8,898	3709	1	0,262	104
49,8	8,898	3709	0	0,262	95
49,8	8,898	3709	0	0,262	98
49,8	8,898	3709	1	0,262	103
49,8	8,898	3709	1	0,262	104
49,8	8,898	3709	0	0,262	97

53,6	6,982	3819	1	0,271	107
54,1	7,313	3702	1	0,271	106,5
54,6	7,313	3702	1	0,271	106,5
55,1	7,313	3702	0	0,271	100
55,7	7,313	3702	0	0,271	100
53,6	6,982	3819	0	0,271	99
54,1	7,313	3702	1	0,271	108
54,6	7,313	3702	1	0,271	107
55,1	7,313	3702	1	0,271	102
55,7	7,313	3702	0	0,271	97
56,9	7,45	3780	1	0,28	101
56,9	7,45	3780	0	0,28	97
56,9	7,45	3780	0	0,28	97
56,9	7,45	3780	0	0,28	95
56,9	7,45	3780	1	0,28	101
56,9	7,45	3780	1	0,28	102

Исходные данные для решения системы сверхидентифицируемых уравнений для
депо Бекасово, удельный (расход смазочного материала 10,00-13,00 кг)

Участковая скорость, км/ч	Смазочный материал, кг/ км	Вес поезда, т	Сезонность	Интенсивность изнашивания, мм/10 тыс.лок-км	Удельный расход электроэнергии, кВт ч/10 тыс.ткм брутто
X1	X2	X3	X4	Y1	Y2
47,50	9,40	3080,00	1	0,22	112
47,50	9,46	3100,00	1	0,22	111
47,50	8,75	3150,00	1	0,22	111
47,50	10,46	3400,00	1	0,22	110
46,50	10,98	3280,00	1	0,22	109
47,80	10,98	3300,00	1	0,22	113
47,80	10,98	3300,00	1	0,22	112
47,80	10,98	3300,00	1	0,23	110
47,80	10,98	3300,00	1	0,23	112
48,55	10,98	3320,00	1	0,23	113
48,55	10,98	3320,00	0	0,24	103
48,55	10,98	3320,00	0	0,24	102
48,55	10,98	3320,00	0	0,24	101
47,80	10,98	3350,00	0	0,24	104
46,50	10,98	3400,00	0	0,27	102
46,50	10,98	3480,00	0	0,27	102
46,50	10,98	3480,00	0	0,27	99
45,00	10,83	3420,00	0	0,3	103
45,00	10,83	3420,00	0	0,3	102
46,50	10,46	3500,00	0	0,3	102

46,50	10,46	3500,00	0	0,3	100
48,60	10,70	3570,00	1	0,22	112
48,40	10,83	3580,00	1	0,22	111
48,20	10,90	3500,00	1	0,22	111
48,20	10,90	3500,00	1	0,22	110
48,00	10,46	3520,00	1	0,22	110
48,00	10,46	3520,00	1	0,22	109
48,00	10,46	3520,00	1	0,22	113
48,50	10,90	3590,00	1	0,22	112
48,50	10,90	3590,00	1	0,23	110
48,50	12,90	3590,00	1	0,23	112
49,00	10,46	3650,00	1	0,23	113
49,00	12,46	3650,00	1	0,23	113
49,00	12,46	3650,00	0	0,24	103
48,20	10,98	3669,00	0	0,24	102
48,20	10,98	3669,00	0	0,24	101
48,20	13,98	3669,00	0	0,24	104
48,20	10,90	3700,00	0	0,27	102
51,90	10,64	3390,00	0	0,27	102
50,80	11,45	3613,00	0	0,27	102
49,50	10,64	3350,00	0	0,27	99
50,90	10,64	3390,00	0	0,3	103
51,10	11,11	3555,00	0	0,3	102
51,10	11,11	3555,00	0	0,3	102
52,50	11,98	3581,00	0	0,3	100
52,50	11,98	3581,00	1	0,22	112
52,00	13,39	3500,00	1	0,22	111
52,00	13,39	3510,00	1	0,22	111
50,00	10,64	3500,00	1	0,22	110
51,50	10,64	3550,00	1	0,22	110
50,50	10,90	3469,00	1	0,22	109
50,50	10,90	3479,00	1	0,22	113
49,50	10,83	3480,00	1	0,22	112
52,00	10,83	3380,00	1	0,23	110
53,00	10,64	3480,00	1	0,23	112
49,70	10,83	3300,00	1	0,23	113
51,00	10,90	3800,00	1	0,23	113
54,00	13,39	3600,00	0	0,24	103
54,00	13,39	3600,00	0	0,24	102
57,80	11,44	3650,00	0	0,24	101
57,80	11,44	3650,00	0	0,24	104
54,80	13,10	3672,00	0	0,27	102
54,80	13,10	3672,00	0	0,27	102
51,00	13,10	3640,00	0	0,27	102
51,00	13,10	3640,00	0	0,27	99
54,00	13,10	3640,00	0	0,3	103
54,00	13,10	3640,00	0	0,3	102

52,50	13,35	3690,00	0	0,3	102
52,50	13,35	3690,00	0	0,3	100
53,90	13,35	3700,00	1	0,22	112
53,90	13,35	3700,00	1	0,22	111
50,10	13,10	3790,00	1	0,22	111
50,10	13,10	3790,00	1	0,22	110
56,80	13,35	3690,00	1	0,22	110
56,80	13,35	3690,00	1	0,22	109
56,00	13,35	3790,00	1	0,22	113
52,50	13,39	3750,00	1	0,22	112
55,00	13,39	3795,00	1	0,23	110

Расчет оценки эффективности использования технологий лубрикации
системы «колесо-рельс», локомотивное депо Орехово ТЧ-5 Московской железной дороги

А) Инвестиционные (единовременные, капитальные) затраты, млн. руб.			
Дирекция тяги			
	Затраты на закупку систем рельсосмазывания на базе локомотива и ситем гребнесмазывания, устанавливаемых на локомотивах $K_{\text{Л}}$:	$C_1^{\text{Л}}=1,5$ млн. руб. $C_1^{\text{Л}}=1$ шт. $C_2^{\text{Л}}=200$ тыс.руб. $C_2^{\text{Л}}=44$ шт.	$K_{\text{Л}}=1,5\times 1+0,2\times 44=10,3$
	Инвестиционные затраты на приобретение и внедрение ТСЛ за срок службы Т (лет) - К	$K=K_{\text{Л}}$	$K=K_{\text{Л}}=10,3$
В)	Текущие (эксплуатационные затраты)		
	Текущие (эксплуатационные) затраты Дирекции тяги на содержание ТСЛ		
1.	Затраты от пробега 1 локомотиво-рельсосмазывателя $З_{\text{бр}}^{\text{Л}}$	$e_{\text{прб}}=42$ руб./лок.-км $\Pi_{\text{прб}}=6000$ лок.-км/месяц	$З_{\text{бр}}^{\text{Л}}=12\times 1\times 6000\times 42=3,024$
2.	Затраты от эксплуатации локомотивов-рельсосмазывателей $З_{\text{э}}^{\text{Л}}$	$З_{\text{э}}^{\text{Л}}=2300$ руб./лок.-ч $A_{\text{э}}=168$ лок.-ч/месяц	$З_{\text{э}}^{\text{Л}}=12\times 2300\times 168=4,637$
3.	Затраты на оплату труда локомотивных бригад локомотиво-рельсосмазывателей: $З_{\text{бр}}^{\text{Л}}$	$e_{\text{бр}}=900$ руб./бриг.-ч $T_{\text{бр}}=220$ бр.-ч/месяц	$З_{\text{бр}}^{\text{Л}}=12\times 900\times 220=2,38$
4.	Затраты на амортизацию со стоимости систем гребнесмазывания: $З_{\text{амГ}}^{\text{Л}}$	$K_{\text{Г}}^{\text{Л}}=8,8$ млн. руб. $a_{\text{ам}}=0,15$	$З_{\text{амГ}}^{\text{Л}}=8,8\times 0,15=1,32$
5.	Затраты на амортизацию со стоимости локомотивов, оборудованных системами рельсосмазывания: $З_{\text{амР}}^{\text{Л}}$	$K_{\text{Р}}^{\text{Л}}=1,5$ млн. руб. $a_{\text{ам}}=0,2$	$З_{\text{амР}}^{\text{Л}}=1,5\times 0,2=0,3$
6.	Затраты на приобретение смазочных материалов для		$З_{\text{СМ}}^{\text{Л}}=500\times 82+700\times 30=0,06$

	лубликации системы «колесо-рельс» рельсосмазывателями на базе локомотивов и бортовыми гребнесмазывателями: $З_{CM}^{Л}$		
	Суммарные текущие затраты Дирекции тяги на содержание ТСЛ: $З_{ТО}^{ЛР}$		$З_{ТО}^{ЛР} = 3,024 + 4,637 + 2,38 + 1,32 + 0,3 + 0,06 = 11,72$
Дирекция по ремонту тягового подвижного состава			
1.	Затраты на проведение ТО и ремонта систем рельсосмазывания на базе локомотивов или систем гребнесмазывания, установленных на локомотивах: $З_{ТО}^{ЛР}$	$C_{ТО1} = 1,5$ тыс. руб. /ед.; $C_{ТО2} = 0,7$ тыс. руб./ед.; $N_{ТО1} = 5$ ед./месяц $N_{ТО2} = 5$ ед./месяц	$З_{ТО}^{ЛР} = 12(1,5 \times 10^3 \times 5 + 0,7 \times 10^3 \times 44 \times 5) / 10^6 = 1,146$
2.	Суммарные текущие затраты Дирекции по ремонту тягового подвижного состава на содержание ТСЛ: $З_{ТО}^{ЛР}$		$З_{ТО}^{ЛР} = 1,146$
	Годовые текущие затраты на содержание и обслуживание ТСЛ: $З^{ТСЛ}$	$З^{ТСЛ} = З_{ТО}^{ЛР} + З_{ТО}^{ЛР}$	$З^{ТСЛ} = 11,72 + 1,146 = 12,87$
С) Изменение текущих затрат при использовании технологий лубликации системы «колесо-рельс»			
Дирекция тяги			
	Изменение затрат от простоя локомотивов на проведение обточек по износу, подрезу и остроконечному накату гребня бандажей колесных пар $\Delta P_{проб}^{Л}$	$e_{Ппрс} = 2300$ руб./лок.-ч $T_{Ппрсобр} = 2$ ч $N_{об}^1 = 944$ $N_{об}^2 = 519$	$\Delta P_{проб}^{Л} = 2 \times (944 - 519) \times 2300 = 1,955$
	Изменение затрат от простоя локомотивов на проведение смен бандажей колесных пар локомотивов $\Delta P_{прсс}^{Л}$	$e_{Ппрс} = 2300$ руб./ч. $T_{Ппрсобр}^1 = 269$ лок.-ч $T_{Ппрсобр}^2 = 148$ лок.-ч	$\Delta P_{прсс}^{Л} = (269 - 148) \times 2300 = 0,278$
	Изменение затрат на тягу поездов: $\Delta P_m^{Л}$	$e_3 = 2,5$ руб./кВт ч $\sum PL = 8,3 \times 10^9$ ткм брутто, грузооборот годовой по	$\Delta P_m^{Л} = 2,5 \times 0,065 \times 8,3 \times 10^9 \times 100 / 10^6 / 10^4 = 13,49$

		изучаемому ж.д. участку; $\Delta A = 6,5\%$ - прогнозная величина экономии удельного расхода электроэнергии на тягу поездов.	
	Суммарное изменение текущих затрат по Дирекции тяги при использовании ТЛС составляет: $\Delta P^{\text{Л}}$		$\Delta P^{\text{Л}} = 1,955 + 0,278 + 13,49 = 15,723$
Дирекция по ремонту тягового подвижного состава			
	Изменение затрат на проведение обточек бандажей по износу, подрезу и остроконечному накату гребня колесных пар локомотивов: $\Delta P_{об}^{\text{Л}}$	$C_{об} = 3500$ руб./пара	$\Delta P_{об}^{\text{Л}} = (944 - 519) \times 3500 = 1,49$
	Изменение затрат на проведение смен бандажей колесных пар локомотивов $\Delta P_c^{\text{Л}}$	$C_c = 26000$ руб./пар	$\Delta P_c^{\text{Л}} = (65 - 37) \times 26000 = 0,73$
	Суммарное изменение текущих затрат по Дирекции по ремонту тягового подвижного состава при использовании ТСЛ: $\Delta P_c^{\text{Л}}$		$\Delta P_c^{\text{Л}} = 1,49 + 0,73 = 2,22$
	Годовое изменение затрат от использования ТСЛ: ΔP		$\Delta P = 15,72 + 2,22 = 17,94$

$$\Xi^{\text{сод}} = 15,71 + 2,22 - 12,87 - 10,3/7 = 3,60 \text{ млн.руб.}$$