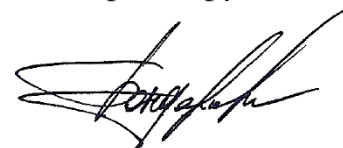


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет путей сообщения»

На правах рукописи



Бондарев Эдуард Сергеевич

**МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ
РЕЛЬСОШЛИФОВАЛЬНЫХ ПОЕЗДОВ**

Специальность 05.02.22 – Организация производства (транспорт)
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
д-р техн. наук, доцент
Ильиных Андрей Степанович

Новосибирск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ	11
1.1 Цели и задачи технологии шлифования рельсов	11
1.2 Зарубежный и отечественный опыт эксплуатации рельсошлифовальных поездов	17
1.3 Планирование и организация работ по шлифованию рельсов на сети российских железных дорог.....	38
Выводы по разделу 1.....	42
2 НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ШЛИФОВАНИЮ РЕЛЬСОВ.....	44
2.1 Общая концепция эффективного планирования работ по шлифованию рельсов.....	44
2.2 Математическая модель определения стратегии планирования работ по шлифованию рельсов.....	51
2.3 Ранжирование дефектов рельсов	59
Выводы по разделу 2.....	69
3 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ	71
3.1 Установление зависимости величины дефекта рельса от грузонапряженности участка железнодорожного пути	71
3.2 Определение переходных вероятностей дефектов рельсов.....	96
Выводы по разделу 3.....	98
4 РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ РАСХОДОВ НА СОДЕРЖАНИЕ РЕЛЬСОВ.....	99
4.1 Расчет функций расходов на выполнение работ.....	99
4.2 Расчет стоимости эксплуатации рельсошлифовального поезда	101
4.3 Расчет дополнительных затрат из-за простоя подвижного состава.....	102
4.4 Расчет дополнительных затрат из-за ограничения скорости движения...	105
4.5 Расчет ожидаемого ущерба от несвоевременного шлифования рельсов .	107
4.6 Практическое применение результатов	109
Выводы по разделу 4.....	128

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	134
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Техническое задание на разработку автоматизированной системы планирования работ по шлифованию рельсов и управления производственным процессом рельсошлифования	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Техническое задание на разработку программно-аппаратного комплекса оценки фактического состояния железнодорожного пути с функцией прогнозирования развития дефектов в рельсах	172
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Награды	189

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АСУР – автоматизированная система управления рельсошлифованием;

ВСП – верхнее строение пути;

ДИ – служба пути территориальной дирекции инфраструктуры;

ДИЦДМ – центр диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры;

ЕКАСУИ – единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой;

ЖДП – железнодорожный путь;

МТР – материально-технические ресурсы;

НТД – нормативно-техническая документация;

ОДР – острodefектный рельс;

ПС – подвижной состав;

ПЧ – дистанция пути (структурное подразделение ДИ);

РШП – рельсошлифовальный поезд;

СВ – степень важности.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Во время движения подвижного состава по ЖДП возникает контактное взаимодействие колесной пары с рельсом, вследствие чего происходит активный износ и контактно-усталостные разрушения поверхностей катания, которые влекут за собой снижение эффективности эксплуатации ЖДП и риски возникновения аварийных ситуаций. Кроме того, при значительном износе головок рельсов возникают существенные затраты на их восстановление. Немалая доля расходов приходится на путевые службы и держателей путевой техники.

На фоне необходимости увеличения межремонтных сроков между капитальными ремонтами ЖДП до 2000-2500 млн т бр. (Протокол совещания Министерства промышленности и торговли РФ № 56-МД/20 от 30.08.2018) остро стоит вопрос своевременного обслуживания рельсов с целью продления их срока службы и обеспечения безопасности движения. Такие показатели на сегодняшний день возможно достичь организацией своевременного шлифования рельсов, которую необходимо корректировать вследствие изменения процесса развития контактно-усталостных дефектов головки рельса. В настоящее время наиболее эффективным и бюджетным способом борьбы является снятие «усталостного» (дефектного) слоя металла при помощи РШП с целью восстановления проектной геометрии рельса

За прошедшие годы заметно увеличилась как скорость движения поездов, так и их интенсивность, что влечет за собой все большее образование дефектов контактно-усталостного происхождения и износа на рабочих поверхностях рельсов. Своевременное удаление образующихся дефектов на начальной стадии не дает возможности их развития до критических размеров, последствием которого может стать замена рельса. Своевременность организации шлифования рельсов с минимальными затратами на содержание ЖДП на сегодняшний день является

не решенной научной задачей, решение которой сдерживается, в том числе, несовершенством существующих методик планирования работ РШП. Таким образом, вопрос разработки метода планирования технологических воздействий по шлифованию рельсов является актуальной научной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Существенный вклад в решение задач, связанных с совершенствованием производственного процесса шлифования рельсов, внесли: В.А. Аксенов, А.Ю. Абдурашитов, Д.Г. Евсеев, И.Я. Пименов, А.С. Ильиных, В.А. Шаламов, Е.О. Юркова, С. Zhao, L. Jianyong, W. Wenxi, M. Mesaritis, P. Cuervo и др. Действующая в настоящее время НТД в области рельсошлифования разрабатывалась при непосредственном участии АО «ВНИИЖТ и АО «ВНИКТИ».

Основой, действующей НТД, является технология шлифования рельсов швейцарской корпорации Speno International SA и опыт эксплуатации РШП, полученный на российских железных дорогах. Несмотря на большую номенклатуру дефектов, удаляемых шлифованием, основой проектирования технологического процесса в действующей НТД является удаление волнообразного износа и формирование требуемого поперечного профиля рельсов. При этом в планировании работ по шлифованию рельсов применяются усредняющие подходы, не учитывающие возможные изменения дефектности рельсов на конкретных участках ЖДП.

Целью исследования является совершенствование процесса планирования технологических воздействий по шлифованию рельсов и управления их результатами для повышения эффективности эксплуатации, содержания и ремонта ЖДП за счет обеспечения своевременного удаления дефектов рельсов с минимальными финансовыми затратами.

Основные задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

– разработка математической модели оценки эффективности и оптимизации работ по шлифованию рельсов с учетом обеспечения минимальных финансовых затрат на содержание ЖДП;

– определение степеней важности дефектов рельсов, удаляемых шлифованием, на основе существующей классификации дефектных и остродефектных рельсов;

– ранжирование дефектов рельсов для определения приоритетности шлифовальных воздействий с учетом типа дефекта, участка и категории ЖДП;

– обобщение и систематизация данных о развитии дефектов в головке рельса, удаляемых шлифованием, в зависимости от условий эксплуатации, конструкции ЖДП и пропущенного тоннажа;

– разработка методики определения вероятности изменения степени важности дефектности рельсов в различных условиях эксплуатации ЖДП;

– разработка методики и алгоритма планирования работ по шлифованию рельсов.

Объект исследования. Производственный процесс шлифования рельсов в условиях ЖДП.

Предмет исследования. Процесс планирования технологических воздействий по шлифованию рельсов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Содержание работы соответствует паспорту специальности 05.02.22 – Организация производства (транспорт) (технические науки): п. 5 «Разработка научных, методологических и системотехнических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем. Повышение качества и конкурентоспособности продукции, системы контроля качества и сертификации продукции. Системы качества и экологичности предприятий» и п. 11 «Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами».

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. Разработана математическая модель оценки эффективности рельсошлифовальных работ и оптимизации стратегий шлифования рельсов.

2. Установлены критериальные значения дефектов рельсов, удаляемых шлифованием, по степеням важности и проведено их ранжирование по приоритетности устранения.

3. Разработан принципиально новый подход в планировании рельсошлифовальных работ, основанный на прогнозировании развития дефектности рельсов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость исследования определена тем, что в работе предложены научно-методические основы планирования технологических воздействий по шлифованию рельсов, позволяющие принимать обоснованные управленческие решения при формировании плана работ РШП с учетом фактического состояния рельсов ЖДП с определенными эксплуатационными характеристиками.

Практическая значимость работы заключается в том, что по результатам исследований разработаны:

– техническое задание на разработку автоматизированной системы планирования работ по шлифованию рельсов и управления производственным процессом рельсошлифования;

– техническое задание на разработку программно-аппаратного комплекса оценки фактического состояния ЖДП с функцией прогнозирования развития дефектов в рельсах.

Результаты исследований используются в учебном процессе в рамках дисциплин «Цифровизация транспортной инфраструктуры», «Управление транспортно-технологическими комплексами и организация парков машин», «Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования».

Методология и методы исследования. Методологическая база исследований сформирована на основе систематизации данных об организации работ

шлифования рельсов в условиях ЖДП в ОАО «РЖД» и анализа научных трудов отечественных и зарубежных ученых. В диссертационном исследовании были использованы методы классификации и формализации эмпирического материала, математической статистики, динамического программирования, марковского анализа, критического пути, сравнения и риск-менеджмента.

Положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Математическая модель оценки эффективности рельсошлифовальных работ, позволяющая на основе динамического программирования производить оптимизацию стратегий шлифования рельсов с минимизацией предстоящих расходов по содержанию ЖДП.

2. Классификация дефектов рельсов, удаляемых шлифованием, по степеням важности, позволяющая для различных условий эксплуатации ЖДП производить ранжирование дефектов рельсов и устанавливать приоритетность их устранения с назначением соответствующего ранга.

3. Методика планирования работ по шлифованию рельсов, основанная на установленных закономерностях развития дефектов рельсов и определения вероятности перехода дефектности рельсов из одной степени важности в другую с учетом условий эксплуатации ЖДП.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов исследований подтверждается обоснованным применением математических и аналитических научных методов, а также корректным использованием математического аппарата.

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены на научно-дискуссионных площадках различного уровня: V Международная научно-практическая конференция «Цифровые трансформации в образовании» (СГУПС, г. Новосибирск, апрель 2021 г.); V Всероссийская научно-практическая конференция «Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения» (ЮУТУ, г. Челябинск, февраль 2021 г.); Международный форум «Кооперация Науки и производства» (Центр

«Мой бизнес», г. Новосибирск, февраль 2020 г.); III Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Борисовские чтения» (КГТУ, г. Красноярск, сентябрь 2021 г.); XII Международная научно-практическая конференция «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (СГУПС, г. Новосибирск, октябрь 2021 г.); XIX Международная конференция «Рынок транспортных услуг: взаимодействие и партнерство» (РЖД-Партнер, г. Москва, декабрь 2021 г.).

Личный вклад автора. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой обобщены результаты исследований, полученные лично автором и в соавторстве. Основная роль в постановке, обосновании и осуществлении программ исследований принадлежит автору. Разработка математической модели и обработка результатов исследований осуществлялась непосредственно автором. Обсуждение, интерпретация полученных результатов, формулирование основных положений и выводов проводились автором совместно с научным руководителем.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, три из которых в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ по специальности 05.02.22 «Организация производства», и одна в журнале, входящим в базу данных Scopus.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из списка основных сокращений и условных обозначений, введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и трех приложений. Общий объем работы составляет 190 страниц, в т. ч. 41 рисунок и 49 таблиц. Список литературы содержит 112 источников.

1 ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ

1.1 Цели и задачи технологии шлифования рельсов

По мере эксплуатации ЖДП, которая определяется наработкой тоннажа, измеряемого в млн т бр., в рельсах неизбежно возникают процессы коррозии, смятия, износа, усталости и пр. Под действием этих факторов образуются различные дефекты [1], которые приводят к ухудшению качества ЖДП, а также снижению безопасности движения, что неизбежно сопровождается финансовыми потерями как для путевых служб, так и для владельцев железнодорожного транспорта. Для недопущения подобной ситуации в качестве превентивной меры необходимо своевременно обнаруживать и устранять дефекты рельсов.

Под дефектным рельсом принято понимать рельс, который находится в эксплуатации и по мере наработки тоннажа теряет свои служебные свойства. Такой рельс является пригодным к использованию до момента перехода в категорию ОДР (рельсы с изломами, выколами и трещинами, подлежащие немедленному изъятию из ЖДП вследствие угрозы безопасности движению составов из-за непредсказуемых последствий разрушения рельсов). Виды дефектов представлены на рис. 1.1.

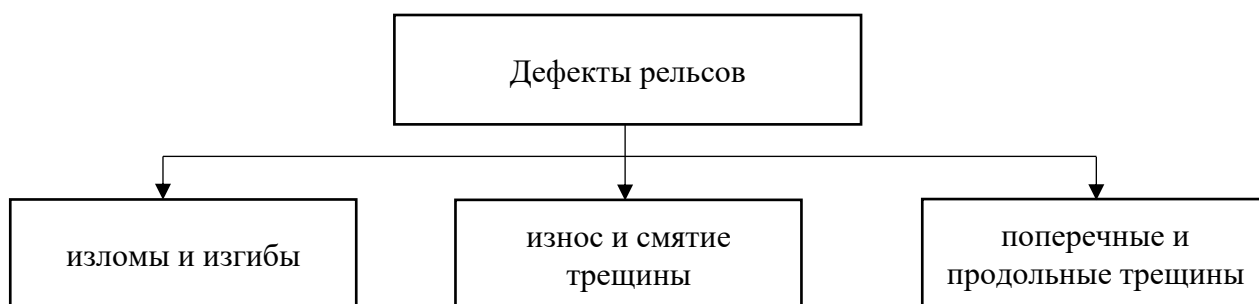


Рисунок 1.1 – Виды дефектов рельсов

Для устранения дефектов рельсов применяются различные методы:

- шлифование в условиях ЖДП с применением РШП;
- фрезерование в условиях ЖДП с применением рельсофрезерных поездов;
- замена рельса.

Под методом принято понимать способ теоретического исследования или практического осуществления чего-нибудь.

Увеличению срока службы и надежности рельсов посвящено немало научных работ. Ученые и профильные специалисты стремятся повысить безопасность движения и уменьшить расходы на содержание ВСП, важнейшими из которых являются затраты на смену рельсов [2-5]. При проведении своевременного шлифования, которое позволяет продлить срок службы рельсов в 1,5-2 раза [6], технологические операции по их фрезерованию исключаются, поскольку рельсофрезерные поезда применяют, как правило, в том случае, когда необходимый съем металл превышает 0,8 мм [7, с. 11]. Кроме того, не на всех дорогах такие поезда имеются в наличии. Учитывая тот факт, что замена рельса является самым дорогим методом из всех перечисленных, то шлифовальные операции являются наиболее дешевым и эффективным методом борьбы с дефектностью.

Шлифование новых рельсов в условиях ЖДП проводится для новых рельсов (с целью устранения обезуглероженного слоя и неровностей в сварных стыках, а также для исправления заводских дефектов поверхности катания) и рельсов с наработкой тоннажа (с целью создания регламентированных значений на поверхности катания, а также для восстановления поперечного профиля головки рельса). Виды шлифованных воздействий на рельс представлены в табл. 1.1 [7, с. 6].

Таблица 1.1 – Виды шлифованных воздействий на рельс

Наименование	Выполняемая операция	Назначение
профилактическое	снятие поврежденного слоя металла	предотвращение развития поверхностных трещин
профильное	обработка головки рельса по всему периметру	восстановление проектной геометрии рельсов (устранение неровностей и пр.)

Поскольку рельсы являются одним из наиболее дорогостоящих компонентов ЖДП, то их шлифование является важным этапом при содержании, капитальном ремонте и строительстве новых железнодорожных линий (рис. 1.2) [7, с. 6]. Кроме того, шлифование рельсов проводится для удаления обезуглероженного слоя (образуется при высоких температурах под воздействием окислительных газов по причине выгорания углерода с металлической поверхности), восстановления поперечного и продольного профилей головок рельсов (максимальное приближение к исходному исполнению), удаления неровностей в сварных стыках и пр. К основным параметрам шлифования относятся: периодичность проведения работ, усилие прижатия шлифовальных кругов, ремонтный профиль рельса, рабочая скорость и число проходов РШП, а также их количество.

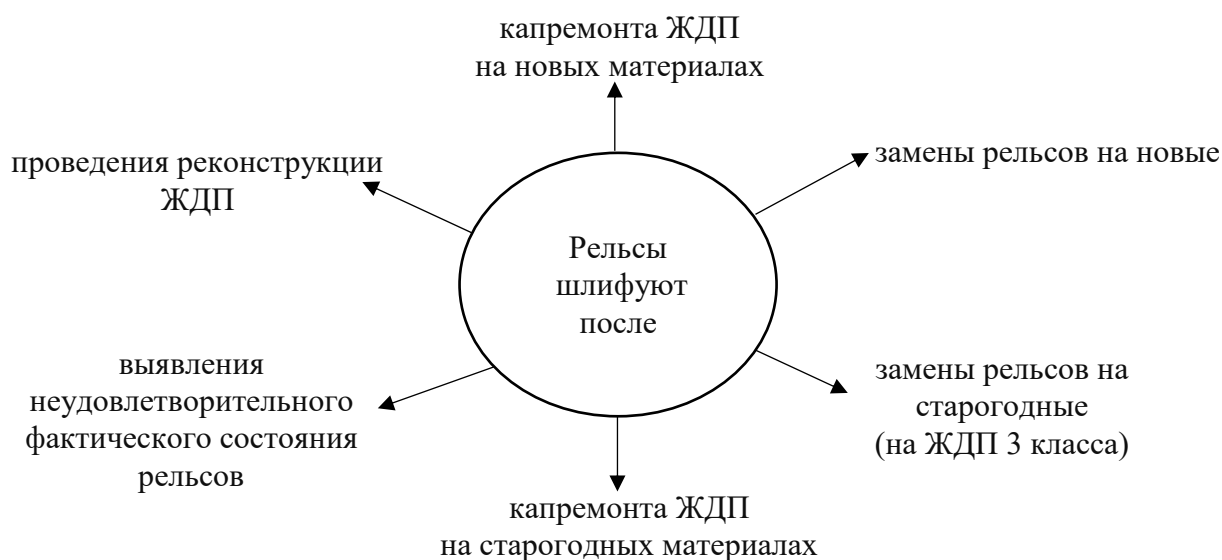


Рисунок 1.2 – Основания для проведения шлифования рельсов в условиях ЖДП

Количество проходов РШП рассчитывается в зависимости от значения дефекта, протяженности участка шлифования, а также от величины съема металла РШП за один проход. Периодичность проведения шлифовальных воздействий назначается в зависимости от состояния рельсов и условий эксплуатации ЖДП.

В РФ, как правило, для предотвращения появления дефектов контактно-усталостного характера, проводят шлифование после пропуска по ЖДП 40-60 млн т бр. [8]. Усталостные дефекты образуются из-за напряжений в головке рельса вследствие действия высоких нагрузок от колес ПС.

С целью ликвидации наклепанного слоя при назначении шлифовки рельсов учитывают, что минимальный слой снимаемого металла должен быть не менее 0,2 мм от дна впадины. Наклепанный слой представляет собой деформационное упрочнение. Его необходимо снимать для достижения более равномерной твердости поверхности рельса.

Возникновение и скорость развития дефектов рельсов зависят от многих факторов: типа, плана, профиля и уклона ЖДП, а также от условий эксплуатации (скорость, ускорение, торможение), климатического условия региона, амплитудно-частотной характеристики начального микропрофиля поверхности катания рельсов, характеристики подрельсового основания (материал шпал, род балласта и пр.) наличия и вида термообработки рельсов [9]. Кроме того, существенное влияние на развитие дефектов оказывают характеристики подвижного состава (мощность, сила тяги, колесная база тележек, система рессорного подвешивания и демпфирования). По результатам анализа сводной ведомости выявленных дефектов, которые возможно устранить методом шлифования, на Западно-Сибирской железной дороге за 2020 г. было выявлено, что наиболее часто образующимися дефектами являются: трещины и выкрашивания, а также волнообразный, вертикальный и боковой износы (см. некоторые типы дефектов на рис. 1.3) [10].

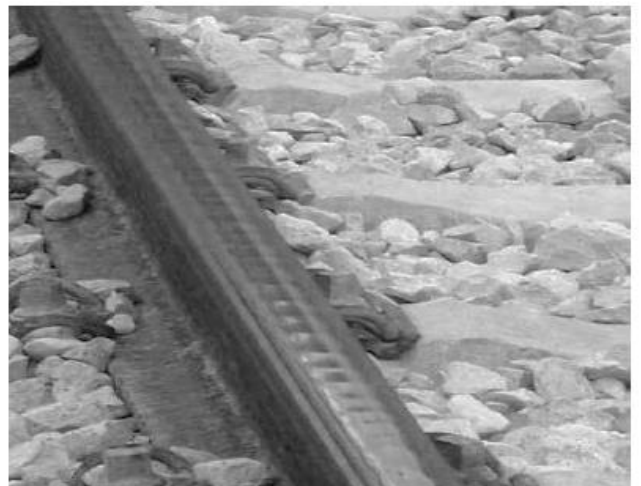
Основываясь на статистических данных, дальнейшие исследования будут проведены на вышеупомянутых дефектах, краткая информация о которых представлена в табл. 1.2.

Боковой износ представляет собой отклонение ширины головки рельса от проектного профиля в меньшую сторону (наплывы не учитываются).

А)



Б)



В)



Г)



а – поверхностные трещины на головке рельса; б – начальная стадия образования волнообразного износа; в – запущенный волнообразный износ;

г – боковой износ головки рельса

Рисунок 1.3 – Дефекты рельсов

Величиной бокового износа является разница между проектным и фактическим значением, измерение которого проводится на 13 мм ниже поверхности катания [7, с. 5].

Таблица 1.2 – Краткая информация о дефектах

Тип дефекта	Причина	Последствия	Предупреждение	Устранение
поверхностные трещины (рис. 1.3, а)	постепенный наклеп рельсовой стали вблизи выкружки	выкрашивание и растрескивание поверхности головки рельса (в запущенном состоянии может привести к разрушению рельса)	увеличение диаметра колес, повышение прочности металла, уменьшение величины нагрузки на рельс	шлифование или замена рельса
волнообразный износ (рис. 1.3, б, в)	неравноупругость подрельсового основания проскальзывание колес подвижного состава (особенно в кривых участках ЖДП), неравномерное распределение твердости металла по глубине и длине рельса, остаточные напряжения, образование неровностей на головке рельса при прокатке и холодной правке	появляется шум при движении по ЖДП, уменьшается ресурс использования ходовой части подвижного состава, ухудшается плавность движения железнодорожной техники, сокращается срок службы ВСП	повышение качества рельсов, исправность подвижного состава, обеспечение равноупругости основания	шлифование или замена рельса
боковой износ рельса в кривых (рис. 1.3, г)	чрезмерное возвышение наружного рельса, снижение рельсовой колеи, малый радиус кривой, нарушении равновесия между условиями эксплуатации и параметрами устройства ЖДП	риск набегания колеса под увеличенным углом на наружный рельс	смазывание рабочей грани в кривых малого радиуса, соблюдение нормативных значений по ширине и уровню колеи, выдерживание возвышения рельсов в зависимости от скорости движения ПС	шлифование или замена рельса

Стоит отметить, что согласно заключению специалистов ВНИИЖТ на участках со сложным планом и профилем пути от 60 до 90 % вновь уложенных рельсов изымаются по коду дефекта 44.0 [11].

Волнообразный износ представляет из себя дефект рельса, который проявляется в виде образования неравномерных глубин с различными интервалами по длине поверхности катания [12].

Под вертикальным износом принято понимать изменение высоты головки рельса вследствие истирания колесами подвижного состава.

Выпуклая поверхность головки рельса, описанная радиусом скругления и соединяющая поверхность катания и верхнюю часть боковой грани, называется выкружкой головки рельса [13].

В случае не выполнения своевременного шлифования рельсов повышается риск образования наиболее опасных контактно-усталостных дефектов, которыми являются поперечные усталостные трещины в головке рельса (код дефектов 21.1 и 21.2) по причине развития в головке рельса без внешних признаков.

1.2 Зарубежный и отечественный опыт эксплуатации рельсошлифовальных поездов

В мировой практике шлифования рельсов в условиях ЖДП, в зависимости от решаемых задач, существует множество подходов к проектированию технологического процесса шлифования и, соответственно, к организации работ [14–40].

Плановое проведение работ по техническому обслуживанию ЖДП позволяет снизить интенсивность износа рельсов и продлить срок их службы, уменьшив, таким образом, эксплуатационные расходы. Помимо этого, достигается высокий уровень надежности и эксплуатационной готовности обслуживаемых элементов ВСП. Применительно к рельсошлифованию правильно организованное,

технически и экономически обоснованное технологическое воздействие характеризуется своевременным и точно спланированным проведением работ с оптимальным использованием имеющихся ресурсов.

Информация, представленная в данном подразделе диссертации, получена на основе изучения отечественной и зарубежной научно-технической литературы, аналитического обзора статей, а также по результатам делового общения с представителями компаний из разных стран мира таких, как ProRail (Нидерланды), Speno International SA (Швейцария), Deutsche Bahn (Германия) и др.

Северная Америка

Технология шлифования рельсов с применением РШП давно используется на ЖДП третьего по величине материка на планете. С самого начала и до настоящего времени рельсошлифование в этом регионе используется как операция текущего содержания ЖДП в целях удаления волнообразного износа и поверхностных дефектов рельсов, а также восстановления поперечного профиля с целью улучшения взаимодействия колеса и рельса [38].

Сегодня технологию шлифования рельсов активно применяют на ЖДП США: Burlington Northern and Santa Fe (BNSF), Union Pacific (UP), CSX Transportation (CSXT); Канады: Canadian Pacific (CPR), Canadian National (CN) и Мексики (Ferrocarriles Nacionales de Mexico) [29]. Преимущественно все виды работ, касающиеся рельсошлифования, в Северной Америке выполняются компанией Loram Maintenance of Way Inc¹. При этом компания применяет рельсошлифовальные машины собственного производства таких марок, как RGS24, RGI48 и RG400. В целом, Loram использует более 40 единиц рельсошлифоваль-

¹ Loram Maintenance of Way Inc. (Loram) – американская корпорация, основанная в 1954 г. Основная деятельность заключается в обслуживании ЖДП, а также предоставлении инспекционных услуг. URL: <https://loram.com/> (дата обращения: 14.09.2020).

ной техники различных модификаций и назначений, однако, основной объем работ на открытых участках (перегонах) ЖДП выполняется только 14-ю современными высокопроизводительными РШП RG400.

При планировании, назначении и производстве работ по рельсошлифованию во главу угла американскими специалистами ставится экономичность процесса. На протяжении многих десятилетий заказчиками и подрядчиками рельсошлифовальных работ совместно с американской ассоциацией строительства и содержания ЖДП (AREMA) велись поиски оптимальной технологии шлифования рельсов. На примере железной дороги BNSF можно проследить как изменялись подходы в организации рельсошлифовальных работ. В период 1987-1995 гг. на железной дороге применяли корректирующее шлифование рельсов, суть которого заключалась в удалении значительного количества дефектов за счет большого количества проходов РШП. Этот метод не экономичный и его эффективность напрямую зависит от периодичности шлифования, которая постоянно менялась. Так в 1987 г. периодичность воздействий составляла 32 млн т бр. В 1988 г. в связи с переходом с двухточечного на одноточечный контакт колеса и рельса с целью снижения бокового износа периодичность шлифования была увеличена до 81 млн т бр. В 1991 г. произошел возврат на межцикловые интервалы шлифования в диапазоне 16-32 млн т бр. [38].

В 1995 г. на BNSF в качестве основного был принят метод превентивного шлифования рельсов. Целью данного метода являлось предотвращение возникновения усталостных дефектов на поверхности катания рельсов и поддержание заданного профиля рельсов с минимальными затратами средств и времени. Реализация метода осуществлялась за счет минимального снятия металла с рельса, но более частым шлифованием участка ЖДП. Несомненно, такой подход имел большое экономическое значение за счет более эффективного использования шлифовальной техники и минимизации помех движению поездов. В табл. 1.3 представлены усредненные количественные характеристики метода превентивного шлифования по указанным выше железным дорогам Северной Америки

[38]. Из табл. 1.3 видно, что важнейшей особенностью его организации является наибольшее снятие металла за один проход с помощью высокопроизводительных РШП (с 84 или 96 шлифовальными кругами, приводимыми во вращение электродвигателями мощностью 30 кВт).

Таблица 1.3 – Характеристики превентивного шлифования рельсов

Параметр	Значение
число высокопроизводительных РШП	14
длина обработанного ЖДП, тыс. км	125,8
общий рабочий пробег РШП, тыс. км	140,5
среднее число проходов по каждому участку ЖДП	1,12
средняя рабочая скорость при шлифовании, км/ч	10,3
среднесуточная продолжительность рабочей смены, ч	12
среднесуточная полезная продолжительность работы РШП, ч	3,8
среднесуточная производительность РШП, км	23,4

С течением времени произошло увеличение протяженности ЖДП, пассажирооборота и грузонапряженности участков ЖДП. Эти факторы привели к резкому сокращению продолжительности и выделения технологических «окон» и, как следствие, произошло снижение эффективности эксплуатации РШП.

К концу 1997 г. в очередной раз наблюдалось распространение корректирующего метода шлифования, который использовали после пропуска 55-180 млн т бр. Такая практика привела к ухудшению технического состояния рельсов и увеличению образования контактно-усталостных дефектов на 70 % [28].

В 1998 г. национальный исследовательский совет Канады (NRC) выдвинул метод превентивно-поэтапного шлифования, основанный на цикличности проведения технологических операций. Данный метод позволял проводить поэтапное восстановление поперечного профиля рельсов (максимальное приближение к проектным показателям) и удаление поверхностных дефектов. Требуемые значения достигались за несколько циклов. Технологические операции подразумевали выполнение ранее разработанного способа превентивного шлифования, но с увеличением величины снимаемого слоя металла с каждым последующим проходом РШП, получение которого возможно при снижении рабочей скорости или увеличения мощности электродвигателей шлифовальных головок [38].

Важнейшей особенностью организации предложенного NRC метода являлось как можно большее удаление металла с рельса за минимальное количество проходов на большей протяженности ЖДП. Требуемых показателей специалистам удалось достичь путем применения РШП типа RG400, главной отличительной особенностью которого является воздействие 57 шлифовальных головок на одну рельсовую нить ЖДП. Таким образом, стало возможно извлекать преимущества превентивного метода шлифования при циклическом восстановлении профиля рельсов (максимальном приближении к проектным показателям) и удалении поверхностных дефектов рельсов [28].

Технически обоснованное применение технологических воздействий позволяет продлить срок службы рельсов и, как следствие, сократить затраты на замену ОДР. В табл. 1.4 приведены сведения о среднем сроке службы рельсов на железной дороге CPR при различных методах шлифования и без него. Из табл. 1.4 видно, что наибольший срок службы рельсов достигается при превентивном шлифовании, т. к. рельсы заменяют по достижении максимально допустимого износа, а не из-за повреждений усталостного характера [29].

Таблица 1.4 – Средний срок службы рельсов при различных технологических воздействиях

Критерии	Без шлифования	При корректирующем шлифовании	При превентивном шлифовании
интенсивность износа рельсов, мм/млн т бр.	0,044	0,066	0,033
предельный износ рельсов, мм	17	20	23
срок службы рельсов по износу, млн т бр.	425	333	766
срок службы рельсов по усталостным повреждениям, млн т бр.	300	450	1199

Начиная с 1999 г., на большинстве железных дорог Северной Америки реализуют превентивно-поэтапное шлифование. Опыт работы показал, что разработанный способ шлифования рельсов в условиях ЖДП экономит финансовые

средства вследствие увеличения срока службы, а также позволяет устанавливать технологические «окна» с незначительной продолжительностью.

Япония

В Японии шлифование рельсов применяют на основных высокоскоростных линиях Тохоку и Дзюэцу. На сегодняшний день общая протяженность высокосортной железнодорожной сети под названием Shinkansen, которая принадлежит Central Japan Railway Company ², составляет более 2500 км. По некоторым участкам ЖДП подвижной состав передвигается со скоростью до 320 км/ч. С начала коммерческой эксплуатации этих линий профилактическое шлифование рельсов осуществляет компания JR East.

Компания располагает парком РШП, состоящим из семи единиц. Пять поездов производства компании Speno: два поезда типа RR-16, один поезд типа RR-32 и два поезда с 48 шлифовальными головками – сдвоенные поезда типа RR-24. Парком этих РШП ежегодно обрабатывается в среднем 1,5 тыс. км рельсов [30].

До недавнего времени планированием работ по шлифованию рельсов занимались инженеры-путейцы компании JR East. Основной их задачей являлось определение количества проходов, исходя из фактической возможности проведения работ, которая определялась напряженностью движения и протяженностью обрабатываемых участков ЖДП, а также продолжительностью рабочего времени (технологического «окна»). Определенные таким образом условия шлифования не всегда давали результат, соответствующий поставленным целям. Исходя из этого, был внедрен новый метод определения числа проходов и схем шлифования, который основан, прежде всего, на задачах, которые необходимо

² Central Japan Railway Company (JR) учреждена в 1987 г. Состоит из восьми компаний (пассажирские перевозки: JR Hokkaido, JR East, JR Central, JR West, JR Shikoku, JR Kyu-shu; грузоперевозки: JR Freight; IT-услуги: JR System), осуществляющих обслуживание ЖДП Японии. URL: <https://global.jr-central.co.jp/en/> (дата обращения: 27.03.2022).

решить посредством шлифования. Учитывая, что технология шлифования рельсов в Японии носит по большей части профилактический характер, было выделено две основных задачи:

1. Снижение шума и вибрации. Организация работ выполняется в населенных пунктах, где уровень шума от поездов превышает 110 дБ.

2. Предупреждение образования поверхностных дефектов. Шлифовальные операции организуют на тех участках ЖДП, где обнаружены дефектные рельсы или после пропуска 30 млн т бр. поездной нагрузки.

Для реализации нового метода планирования работ были разработаны алгоритмы назначения количества проходов РШП и схем шлифования, в которых наряду с уже отмеченными исходными параметрами также учитываются конфигурация ЖДП (прямая, кривая) и пропущенный тоннаж на участке ЖДП, фактический поперечный профиль головки рельса и степень его износа, тип РШП и количество шлифовальных головок (см. рис. 1.4).



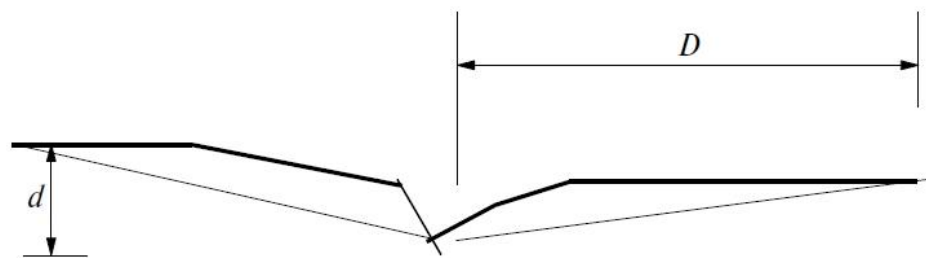
Рисунок 1.4 – Алгоритм определения числа проходов РШП и схемы шлифования

В табл. 1.5 приведено число проходов, которое необходимо совершить РШП с 16 шлифовальными камнями для исправления сварного стыка. При определении количества проходов РШП руководствуются [31]:

- толщиной слоя металла, который способен снять РШП за один проход;
- толщиной слоя металла, которую необходимо снять за один проход РШП;
- участком перехода (рис. 1.5).

Таблица 1.5 – Определение числа проходов РШП для шлифования сварного стыка

Глубина стыка d , мм	Число проходов РШП	
	обычный ЖДП ($D = 6000 \times d$)	высокоскоростной ЖДП ($D = 10000 \times d$)
$0 \leq d < 0,2$	8	12
$0,2 \leq d < 0,3$	10	14
$0,3 \leq d < 0,4$	12	16
$0,4 \leq d$	16	20



d – длина отвода понижения; D – глубина удаляемого слоя металла

Рисунок 1.5 – Участок перехода сварного стыка

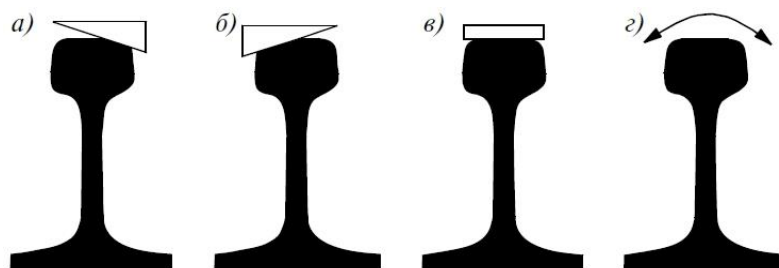
Используя табл. 1.6, назначают схему шлифования в зависимости от преобладающей конфигурации пути [30].

Таблица 1.6 – Назначение схемы шлифования

ЖДП	Число проходов						
	6	8	10	12	14	16	20
прямой или кривой ($R > 4000$ м или $R < 2000$ м)	16-A	16-C	16-E	16-H	16-K	16-N	16-Q
$2000 < R < 4000$ м	16-A	16-C	16-F	16-I	16-L	16-O	16-R
уровнительный стык	16-B	16-D	16-G	16-J	16-M	16-P	16-S

Число проходов равное шести назначают только в случае устранения дефектов.

Схемы шлифования зоны контакта колеса с рельсом показана на рис. 1.6 [38].



a) – рабочая грань; *б)* – внутренняя грань; *в)* – головка рельса;
г) – изменение профиля

Рисунок 1.6 – Последовательность шлифования

Для придания головке рельса выпуклой формы, производят шлифовальные операции рабочей и внутренней граней (см. рис. 1.6, *a*, *б*). С целью удаления волнообразного износа, используют осевое шлифование (см. рис. 1.6 *в*), а для придания поперечному профилю головки рельса формы, максимально приближенной к исходной, производят перепрофилирование (см. рис. 1.6, *г*).

Схема, по которой назначается устранение поверхностных дефектов, представлена на рис. 1.7.

Число проходов назначается ориентируясь на паспортные значения РШП (см. табл. 1.7), а также исходя из правила, согласно которому необходимо удалять неровности глубиной 0,05-0,1 мм на тех ЖДП, где пропущенный тоннаж превышает 30 млн т бр., с целью исключения развития контактно-усталостных дефектов.

Таблица 1.7 – Назначение числа проходов

Количество шлифовальных камней	Число проходов
16	6
24	4
32	4
48	2-4



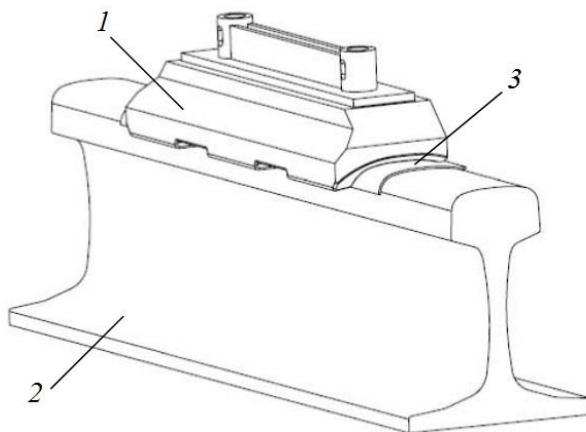
Рисунок 1.7 – Схема назначения удаления поверхностных дефектов

КНР

В КНР расположена самая крупная сеть высокоскоростных железных дорог, по которым передвигается подвижной состав со скоростью до 350 км/ч и шлифование рельсов, в большей степени, направлено применительно к этим железнодорожным линиям.

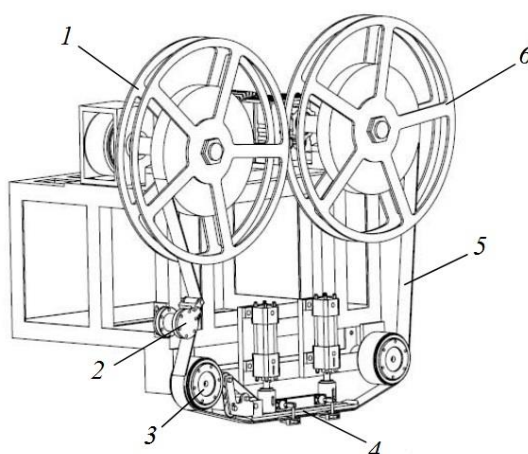
В настоящее время рельсошлифование применяется повсеместно с целью улучшения взаимодействия колеса и рельса, а также для продления срока службы ЖДП в качестве превентивной меры. Однако традиционная технология восстановления головки рельса в КНР с использованием абразивного шлифовального круга с каждым годом теряет свою востребованность в связи с быстро растущим спросом на обработку высокоскоростных железнодорожных магистралей. Стоит отметить, что волнообразный износ стал одной из основных проблем среди всех видов дефектов рельсов в связи с увеличением скорости движения поездов. По этой причине китайские ученые разработали новое устройство

для быстрого шлифования рельсов открыто-структурированной абразивной лентой для удаления волнообразного износа. На высокоскоростных железных дорогах длина волны при постоянном движении на высоких скоростях составляет 120-150 мм, а на низких скоростях 60-80 мм. Среднее углубление на поверхности рельса, как правило, имеет значение 0,1 мм. Принимая во внимание эти статистические данные, был разработан прижимной компонент длиной 300 мм, функция которого заключается в приводе движения абразивной ленты (рис. 1.8-1.9) [32].



1 – прижимная пластина; 2 – рельс; 3 – абразивная лента

Рисунок 1.8 – 3D-модель прижимной пластины



1 – сматывающее колесо; 2 – натяжное колесо; 3 – паразитное колесо;
4 – прижимная пластина; 5 – абразивная лента; 6 – наматывающее колесо

Рисунок 1.9 – Рельсошлифовальное устройство

с разомкнутой абразивной лентой

Согласно действующим техническим требованиям, предъявляемым к высокоскоростным железным дорогам в КНР, высокоскоростной РШП за одну операцию должен выполнять шлифовку 50-60 км ЖДП (среднее расстояние между станциями). С этой целью установлена общая длина абразивной ленты, которая должна быть не менее 80 м. Толщина снимаемого слоя составляет 0,08 мм за проход. Рабочая ширина шлифования абразивной ленты составляет 45 мм. При этом обработка может осуществляться на скоростях до 60-80 км/час без необходимости организации технологических «окон».

Германия

Из эксплуатационного опыта основного немецкого железнодорожного оператора Deutsche Bahn³ следует, что организацию работ по шлифованию рельсов необходимо в первую очередь проводить на ЖДП с контактно-усталостными дефектами. С целью недопущения подобной ситуации DB с 2007 г. проводит периодические шлифовальные работы, направленные на продление жизненного цикла рельсов, что позволяет экономить значительную часть бюджета.

На ЖДП Германии шлифование рельсов проводят после:

- обнаружения дефектов;
- укладке новых рельсов;
- истечения определенного промежутка времени или пропущенного тоннажа в зависимости от установленной скорости движения на ЖДП, величины радиуса кривой ЖДП и пр.

Основываясь на многолетнем опыте шлифовальных работ, сотрудниками DB было установлено, что достаточно организовать хотя бы одну операцию за два года, чтобы предупредить появления дефектов рельсов на высокоскоростных ЖДП с годовой грузонапряженностью не более 20 млн т бр.

³ Deutsche Bahn (DB) – немецкая компания, основанная в 1994 г. Состоит из отдельных независимых друг от друга подразделений. Выполняет полный спектр работ на ЖДП. URL: <https://www.bahn.de/> (дата обращения 27.03.2022).

При организации подобных профилактических работ слой снимаемого металла составляет, как правило, 0,3-0,5 мм на всех высокоскоростных ЖДП за исключением таких линий, как Кельн – Франкфурт-на-Майне и Нюрнберг – Ингольштадт из-за особых характеристик. На базовой части сети DB рекомендуемая толщина удаляемого слоя металла составляет 0,5 мм. Для рельсов из стали марки R260 в кривых радиусом от 500 до 5000 м интервалы между шлифованием зависят от поездной нагрузки и составляют от 6 месяцев до 2 лет. Для рельсов из стали марки R350HT толщина удаляемого слоя может быть уменьшена в 2 раза или возможно двукратное увеличение интервала между шлифованием. В зависимости от решаемых задач при механической обработке рельсов на сети DB применяются различные технологии и технические средства: шлифование с использованием вибрирующих или вращающихся абразивных камней (см. табл. 1.8).

Таблица 1.8 – Области применения технологий шлифования рельсов

Технология	Применение				
	превентивное	корректирующее	восстановление профиля	первичное	формирование асимметричных профилей
шлифование вибрирующими абразивными камнями	+	-	-	+	-
шлифование вращающимися абразивными кругами	+	+	+	+	+

Использование вибрирующих камней позволяет обеспечить высокое качество обрабатываемой поверхности. Данная технология применяется, в частности, для снижения уровня шума от движения поездов в густонаселенных городских районах. Вместе с тем, поскольку такой метод шлифования малопродуктивный и не позволяет восстанавливать поперечный профиль рельсов, он непригоден для превентивного удаления микротрещин головок рельсов в кривых. При превентивном шлифовании требуется снятие слоя металла толщиной 0,1-

0,5 мм на участках достаточно большой протяженности. В этом случае целесообразно использовать высокопроизводительные машины, которые обеспечивают полное восстановление поперечного профиля рельсов за один или два прохода. Скорость работы машин зависит от числа установленных на них шлифовальных камней и толщины подлежащего удалению слоя металла [37].

Исходя из результатов проведенных экспериментов, было принято решение внедрить в повседневную практику на важнейших направлениях сети DB три методики шлифования: за один проход, за два прохода и с высокой скоростью. Последняя особенно эффективна в тех случаях, когда предоставление технологических окон затруднительно. Однако применение этой технологии ограничено прямыми участками ЖДП с неизношенным профилем головки рельса [37].

Швеция

Ответственность за состояние ЖДП возложена на Swedish Rail Administration⁴.

Развитие шлифования рельсов в Швеции началось с ЖДП тяжеловесного движения Мальмбанан, соединяющего порты Лулео и Нарвик (Норвегия). По ЖДП, общая протяженность которого составляет 473 км (в т. ч. 433 км проходят по территории Швеции и 30 км – по территории Норвегии), доставляют руду из района Кируны, поэтому ЖДП нередко называют линией железной руды. Большая часть ЖДП состоит из сложных участков: кривые малого радиуса, затяжные спуски и подъемы. Ранее наибольшая масса грузов, перевозимых в железнодорожных вагонах, не должна была превышать 80 т в связи с действующим в то время ограничением осевых нагрузок на ЖДП от ПС (не более 25 т). После завершения реконструкции ЖДП ограничение было снижено до 30 т, что позволило перевозить грузы до 100 т.

⁴ Swedish Rail Administration – шведская транспортная администрация, основанная в 2010 г. осуществляет долгосрочное планирование транспортной системы, обслуживание ЖДП и пр. URL: <https://www.trafikverket.se/> (дата обращения 27.03.2022).

С целью уменьшения рисков возникновения дефектно рельсов контактно-усталостного характера и уменьшения величин износа на Мальмбанане ежегодно выполняют технологические операции по шлифованию рельсов в условиях ЖДП (профилактика, репрофилирование). Как правило, работы в кривых участках ЖДП выполняются после пропуска 27 млн т бр. (годовая грузонапряженность), а в прямых – после 80 млн т бр. (ориентировочно один раз в три года). Снятие слоя металла регламентируется паспортными данными РШП и составляет не менее 0,2 мм за один проход как для превентивного, так и для корректирующего методов шлифования [37].

Шлифование по программе, разработанной для содержания Мальмбанана, дало положительные результаты, что привело шведскую транспортную администрацию к трансляции метода на других участках ЖДП, расположенных в центральной и южной частях государства. Для большинства участков ЖДП характерно смешанное движение, разрешенная скорость по которым достигает 200 км/ч, а осевая нагрузка – 25 т. При содержании подобных ЖДП устраняют не только дефекты рельсов контактно-усталостного характера, но и волнообразный износ для повышения уровня комфорта во время движения, а также придания головке рельсов профиля, улучшающего вписывание тележек ПС в кривые участки ЖДП. Кроме того, выполнение технологических операций позволяет снизить уровень шума при прохождении кривых малого радиуса [37].

Новые рельсы шлифуют согласно превентивному методу, а находящиеся в эксплуатации – на основе визуального контроля и результатов измерения геометрических параметров. Так, при движении ПС с осевыми нагрузками не более 22,5 т рельсы в кривых радиусом 500 м и менее следует шлифовать после пропуска 30 млн т бр., а в кривых большего радиуса и прямых – через каждые 40 и 70 млн т бр. соответственно [37].

Нидерланды

В Нидерландах результаты шлифования рельсов оцениваются в первую очередь с точки зрения снижения шума. Так, например, по результатам шлифования шум, который возникает при движении ПС со скоростью 120 км/ч, должен быть снижен на 2 дБ. Поскольку шероховатость рельса не является инвариантной величиной, интервал между рельсошлифованием следует выбирать таким образом, чтобы среднее снижение уровня шума составляло 2 дБ. С этой целью выполняется около 420 шлифовальных смен в год. За смену шлифуют прямой участок ЖДП или несколько объектов (стрелочные переводы, туннели, железнодорожные переезды, мосты и пр.). Так, например, за одну ночную смену выполняют шлифования 10-30 км прямого участка ЖДП. Стоит отметить, что рельсошлифование в Нидерландах носит исключительно профилактический характер.

Россия

Революционный поворот произошел в СССР в конце 40-х годов XX века. Было принято решение о создании рельсошлифовального вагона (РШВ), основное назначение которого заключалось в устранении волнообразного износа на поверхности головки рельса при помощи операции шлифования абразивными материалами. РШВ был сформирован на базе грузового вагона, в котором размещались приводы шлифовального оборудования и др. Ходовая тележка также была модернизирована. На ней было установлено шлифовальное оборудование. Для смачивания абразивного материала во время работы подавалась вода из цистерн, которые входили в состав поезда.

Первые РШП, созданные в СССР, имели множество недостатков:

- низкая скорость движения (не более 40 км/ч);
- небольшая толщина снимаемого слоя металла с поверхностей головок рельсов (не более 0,01 мм);
- конструкцией РШВ не была предусмотрена возможность профилирования боковых закруглений головок рельсов;

– требовалось большое количество проходов РШП для снятия необходимого поверхностного слоя металла с поверхностей головок рельсов;

– небольшое усилие прижатия абразивного материала к головкам рельсов (не более 100 кН).

Во второй половине XX века лидирующую позицию во всем мире по вопросам рельсошлифования заняла компания Speno International SA⁵, основанная в 1960 г. Фрэнком Спено. Именно этой швейцарской корпорации удалось в 1963 г. разработать и выпустить первый в Европе РШП марки ТМ.205 (рис. 1.10), полученный из архивных данных), который использовала компания RATP⁶ для шлифования головок рельсов в метрополитене [38]. Speno International SA по сей день остается одним из главных игроков на мировом рынке по вопросу рельсошлифования в условиях ЖДП. Основными конкурентами компании считаются Harsco Rail⁷, Matisa⁸ и Schweerbau⁹.

⁵ Speno International SA – швейцарская корпорация, основная деятельность которой заключается в проектировании и производстве путевых машин для текущего содержания и ремонта ЖДП. URL: <https://www.speno.ch/> (дата обращения: 23.09.2020).

⁶ RATP – государственная компания Парижа, в ведении которой находится общественный транспорт города. URL: <https://www.ratp.fr/> (дата обращения: 27.09.2020).

⁷ Harsco Rail – английская компания, образованная в 1909 г. Является дочерним предприятием промышленного гиганта Harsco Corporation. Основная деятельность заключается в разработке и обслуживании объектов инфраструктуры. URL: <https://www.harscorail.com/> (дата обращения: 14.09.2020).

⁸ Matisa – швейцарская компания, основанная в 1945 г. Предлагает услуги в сфере производства путевых машин для строительства, ремонта и текущего содержания ЖДП. URL: <https://www.matisa.ch/> (дата обращения: 14.09.2020).

⁹ Schweerbau является крупной немецкой компанией, ведущей свою работу с 1929 г. Основная специализация сосредоточена на строительстве ЖДП и обслуживании рельсов. URL: <https://www.schweerbau.de/> (дата обращения: 03.09.2020).



Рисунок 1.10 – Первый в Европе РШП марки ТМ.205

РШП от Speno International SA начали эксплуатировать в СССР с 1984 г. Они зарекомендовали себя как качественные и надежные машины, поэтому в 1998 г. было положено начало совместной работы АО «Калужский завод «Ремпутьмаш»¹⁰ и швейцарской корпорации Speno International SA. Созданный совместными усилиями поезд РШП-48 имел возможность ликвидировать дефекты и устранять волнообразные неровности на поверхностях рельсов в условиях ЖДП. В РШП-48 была предусмотрена конструктивная особенность работы со всеми типами железнодорожных рельсов, кроме Р65К. Кроме того, разработанные РШП производили под потребности заказчика. Так, например, для Калининградской железной дороги РШП-48 был представлен в виде двух секций на 16 шлифовальных головок, поскольку протяженность ЖДП весьма небольшая.

¹⁰ АО «Калужский завод «Ремпутьмаш» является крупным машиностроительным предприятием РФ, которое было основано в 1944 г. На сегодняшний день входит в дивизион АО «Синара-Транспортные машины».

На сегодняшний день ООО «РСП-М», в парке которого находится 22 единицы РШП разных типов, проводит шлифование более 33 тыс. км ЖДП (см. табл. 1.9).

Таблица 1.9 – Выполненный объем работ за 2021 г.

№ п/п	Тип РШП	Объем работ за 2021 г., км	Место проведения работ (дорога)
1	РШП-48 № 1	1983	Западно-Сибирская
2	РШП-48 № 2	1309	Юго-Восточная
3	РШП-48 № 3	2403	Свердловская
4	РШП-48 № 4	1713	Дальневосточная
		1447	Забайкальская
5	РШП-48 № 5	1678	Куйбышевская
6	РШП-48 № 6	1796	Южно-Уральская
7	РШП-48 № 7	–	–
8	РШП-48 № 8	–	–
9	РШП-48 № 9	1180	Восточно-Сибирская
		1993	Красноярская
10	РШП-48 № 10	1574	Приволжская
11	РШП-48-К № 1	–	–
12	РШП-48-К № 3	4395	Московская
13	РШП-48-К № 4	2321	Северная
14	РШП-48-К № 5	–	–
15	RR-16 № 1	–	–
16	RR-16 № 1	–	–
17	RR-16МС № 7	1000	Октябрьская (стрелки)
18	RR-48 № 1	3017	Октябрьская
19	RR-48 № 2	–	–
20	RR-48 № 3	1744	Горьковская
21	RR-48 № 5	1148	Восточно-Сибирская
22	URR-112-5 А	1955	Северо-Кавказская
		500	Октябрьская
Итого		33156	

До середины 2020 г. производственная компания ООО «РСП-М»¹¹ предоставляла свои услуги ОАО «РЖД», связанные со шлифованием рельсов в условиях ЖДП. Однако в июле 2020 г. дивизионный машиностроительный холдинг

¹¹ ООО «РСП-М» учреждено в РФ в 2008 г. Предоставляет свои услуги по сварке и шлифованию рельсов.

АО «Синара-Транспортные Машины»¹² поглотил ООО «РСП-М». Объединение мощностей двух компаний произошло в связи с необходимостью достижения более высокого уровня технологии шлифования рельсов в ЖДП. АО «Синара-Транспортные машины» планирует освоить новые методы, связанные с обслуживанием рельсов в пути, а именно: модернизировать РШП и улучшить их характеристики. Так, например, в сентябре 2021 г. по результатам совместной работы специалистов ООО «РСП-М» и ученых из ФГБОУ ВО СГУПС удалось апробировать новую технологию скоростного шлифования рельсов на полигоне Куйбышевской железной дороги. Рабочая скорость РШП была увеличена в 2,5 раза (с 6 до 15 км/ч) без потери качества шлифования. В итоге суммарная производительность достигла увеличения на 259 %.

Обобщение проведенного анализа

Проведенный анализ показал, что независимо от условий эксплуатации ЖДП во всех странах имеется четкое разделение процесса шлифования рельсов на виды технологических воздействий, характеристики которых представлены в табл. 1.10:

- профилактическое (превентивное) шлифование;
- корректирующее;
- восстановительное (ремонтное).

При этом следует отметить, что наиболее прогрессивная схема шлифования – это схема с вращающимися абразивными кругами, т. к. только с применением этой технологии можно реализовать все три указанных технологических воздействия за счет изменения режимов обработки. Кроме того, отдельно можно

¹² АО «Синара-Транспортные Машины» («СТМ») создана в 2007 г. Является частью российского многоотраслевого холдинга АО «Группа Синара». Занимается производством и сервисным обслуживанием железнодорожной техники. URL: <https://sinaratm.ru/> (дата обращения: 24.09.2020).

выделить акустическое шлифование, проводимое в ряде стран как отдельное технологическое воздействие.

Таблица 1.10 – Обобщенные признаки применяемых технологических воздействий

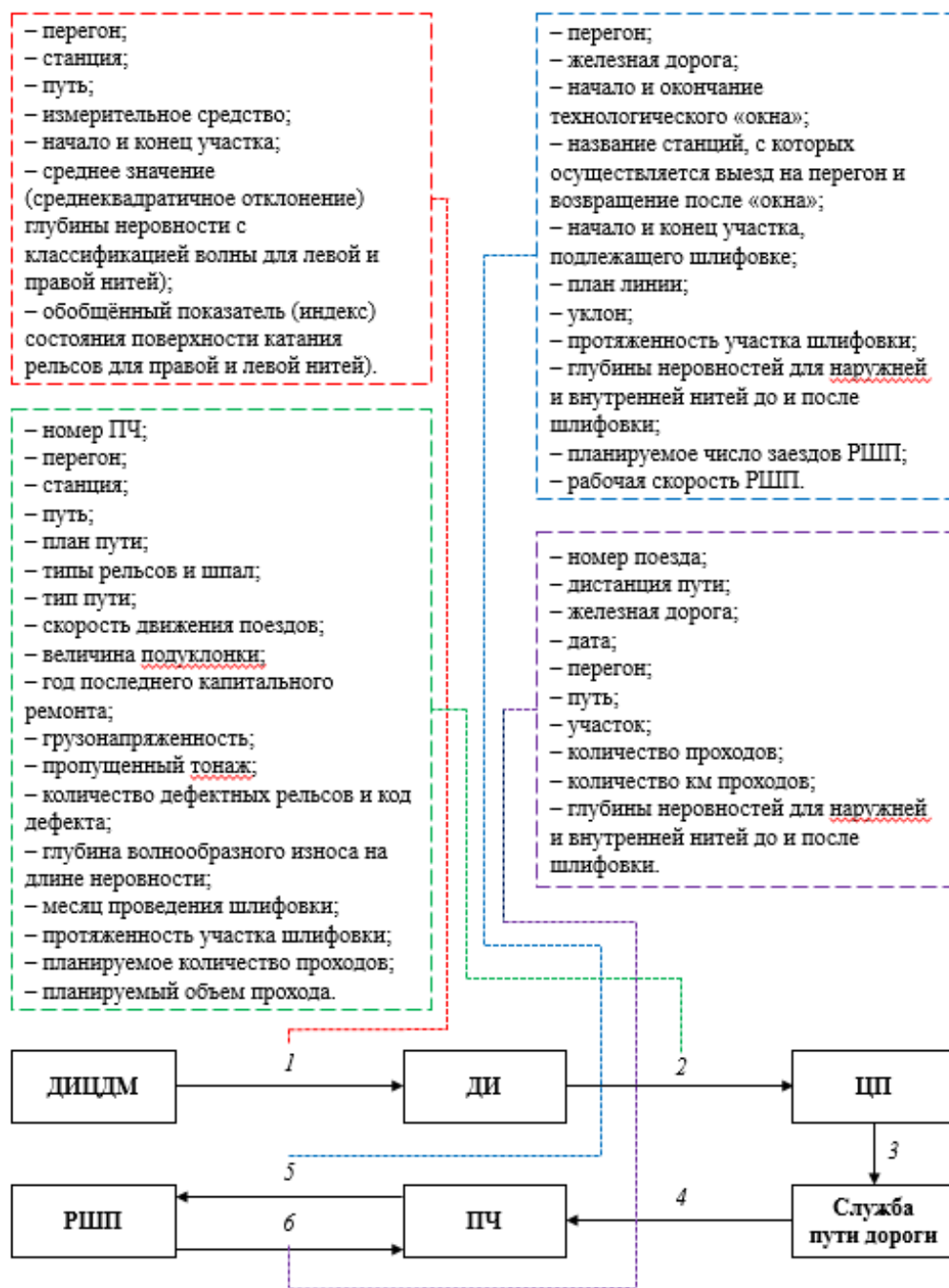
Вид шлифования	Цель шлифования	Принципы реализации шлифования	Средние значения режимов шлифования
профилактическое (превентивное)	предотвращение возникновения усталостных дефектов на поверхности катания рельсов	шлифование новых рельсов (далее более частое шлифование участка ЖДП с минимальным съемом металла с рельсов на максимально возможной скорости)	периодичность обработки: 20-40 млн т бр.; скорость обработки: до 15 км/ч (в новых технологиях до 80 км/ч); съем металла: 0,05-0,2 мм (в новых технологиях при 60-80 км/ч до 0,08 мм)
корректирующее	удаление появившихся дефектов на поверхности катания рельсов, предотвращение их развития. Корректировка поперечного и продольного профилей рельсов	менее частое шлифование участка ЖДП со значительным съемом металла с рельсов (характерно использование высокопроизводительных поездов с большим количеством шлифовальных кругов)	периодичность обработки: 40-150 млн т бр.; скорость обработки: 6-8 км/ч; съем металла: до 0,5 мм
восстановительное (ремонтное)	восстановление поперечного и продольного профилей рельсов; перепрофилирование и создание асимметричных профилей рельсов в кривых участках ЖДП	редкое шлифование участка ЖДП с большим съемом металла с рельсов (характерно многопроходное шлифование до 8 проходов)	периодичность обработки: свыше 150 млн т бр. (возможно чаще на сложных участках ЖДП); скорость обработки: 4-6 км/ч; съем металла: до 3 мм
акустическое	формирование требуемых параметров качества поверхности для снижения шумового эффекта при движении ПС	шлифование осуществляется, как правило, после основных видов обработки (производительное шлифование, фрезерование, строгание); характерно использование шлифовального оборудования с вибрирующими абразивными брусками	периодичность шлифования: связана с основными видами обработки; скорость обработки: до 4 км/ч (как правило 500-1000 м/ч); съем металла: 0,01-0,03 мм

1.3 Планирование и организация работ по шлифованию рельсов на сети российских железных дорог

При планировании работ основным регламентирующим документом является Инструкция [7], согласно которой дефекты рельсов необходимо ранжировать по приоритетности в зависимости от класса пути, установленных скоростей движения, наработки тоннажа, величины износа и пр. Несовершенство данного подхода выражается в отсутствии градации приоритетности дефектов и способов ее выявления. Все это приводит к тому, что на практике рельсы шлифуют в зависимости от величины дефекта и местонахождения РШП.

В настоящее время организационный процесс шлифования головок рельсов выглядит следующим образом (рис. 1.11). ДИЦДМ с использованием специальных средств и инструментов проводит проверку рельсов на наличие дефектов, определяет величину волнообразного износа, а также выполняет комплексные замеры: продольного профиля поверхности катания, поперечного профиля головки, твердости, подуклонки, высоты и ширины рельса. Шлифование рельсов назначается в том случае, если наблюдается превышение средних значений глубин неровностей, допустимые показатели которых, в свою очередь, зависят от скорости движения поездов. Таблица значений, при которых назначается шлифование рельсов, приведена в Инструкции [7, с. 7]. ДИЦДМ устанавливает величину съема металла при шлифовании, которая должна быть не менее 0,1 мм от дна впадины волны и зависеть от износа головки рельса. Зависимость величины съема металла от износа головки рельса приведена в Инструкции [7, с. 8]. Проведя анализ полученных данных, ДИЦДМ формирует перечень участков ЖДП, которые подлежат шлифованию. Затем информация передается в ДИ.

В паспорте каждого РШП указана величина съема металла за один проход. Опираясь на эти данные, специалисты назначают количество проходов, придерживаясь регламентированных значений, которые указаны в Инструкции [7, с. 9].



1 – перечень участков, подлежащих шлифованию; 2 – разработанный адресный план шлифования; 3 – утвержденный адресный план шлифования; 4 – разработанный и утвержденный график (продолжительность работ, периодичность предоставления «окон» и т. д.); 5 – разработанное и утвержденное план-задание на выполнение работ; 6 – акт выполненных работ

Рисунок 1.11 – Организационная структура производственного процесса шлифования рельсов

Периодичность проверок устанавливается на основании методики определения периодичности при комплексной проверке рельсов в пути [7].

В ДИ составляют план шлифовальных работ на предстоящий год для последующей отправки в ЦП ЦДИ на согласование. В случае одобрения представленного плана, его отправляют обратно для составления графика производства работ, продолжительности и периодичности предоставления «окон» и т. д. Затем разработанный план-график направляют в ПЧ, в задачу которых входит составление план-задания на выполнение соответствующих работ. Последним звеном в цепочке организационного процесса является мастер РШП, который получает план-задание, а затем руководствуется им в процессе выполнения работы.

На сегодняшний день шлифование рельсов назначают без учета размеров дефектов, кинетики их развития и возможного перехода в другие дефекты, относящиеся к ОДР и требующих замену рельсов. Основным критерием для назначения шлифовальных операций является превышение допустимых значений обобщенного показателя (индекса) состояния поверхности катания рельсов I_s , который определяется следующим образом [7]:

$$I_s = \frac{\sum_{i=1}^3 n_i L_{ni}}{\sum_{i=1}^3 n_i} \cdot \frac{\sum_{i=1}^3 n_i A_{ni}}{\sum_{i=1}^3 n_i}, \quad (1.1)$$

где L_{ni} – суммарная протяженность дефектных участков ЖДП, км; n_i – «веса» поддиапазонов длин неровностей: $n = 2$ для коротких, $n = 0,5$ для средних, $n = 0,3$ для длинных (для участков ЖДП со скоростями движения до 200 км/ч); $n = 2$ для коротких, $n = 0,3$ для средних, $n = 0,5$ для длинных (для участков ЖДП со скоростями движения более 200 км/ч); A_{ni} – средняя глубина неровностей, мм.

С учетом среднесетевых условий эксплуатации периодичность шлифования рельсов составляет 85 млн т. бр. [7, с. 13]. Данный показатель подлежит корректировке в зависимости от условий эксплуатации ЖДП. В табл. 1.11 приведены коэффициенты, которые снижают установленную периодичность проведения работ.

Таблица 1.11 – Коэффициент корректировки проведения работ

№ п/п	Максимально допустимая скорость движения, км/ч	Коэффициент
1	60	1,00
2	61-100	0,80
3	101-140	0,67
4	более 140	0,47

Учет условий эксплуатации ЖДП проводят путем уменьшения периода между шлифовальными операциями или за счет увеличения числа проходов РШП.

В том случае, если установленная периодичность организации работ нарушена, вводят корректирующий коэффициент $K_{кор}$ для расчетных значений проходов РШП [7, с. 14]:

$$K_{кор} = (P_{факт}/P_{треб})^2, \quad (1.2)$$

где $P_{факт}$ – фактическая периодичность проведения работ, млн т бр.; $P_{треб}$ – установленная периодичность проведения работ, млн т бр.; 2 – степенной коэффициент, учитывающий зависимость величины дефекта от пропущенного тоннажа.

Для РШП разработаны рекомендации по количеству проходов в зависимости от вида проведенных работ. Так, например, для РШП RR48 минимальные значения проходов приведены в табл. 1.12 [7. с. 15].

На сегодняшний день в ОАО «РЖД» действует ЕКАСУИ, с помощью которой осуществляется учет и анализ состояния объектов инфраструктуры. Данную систему начали внедрять на сети ОАО «РЖД» в 2012 г. после подписания соответствующего распоряжения [41]. Более подробно [42-47].

Таблица 1.12 – рекомендуемое минимальное количество проходов для РШП RR48

Вид работ	Минимальное количество проходов
укладка новых рельсов	3
укладка старогодных рельсов	3
перекладка рельсов без ремонта в РСП (рельсосварочное предприятие)	6
ППР (планово-предупредительные работы)	4
средний ремонт пути	4

Согласно Инструкции при планировании работ в «окно» должно выполняться условие [7, с. 16]:

$$t_{\text{раб}} \leq 8 \text{ ч.} \quad (1.3)$$

К сожалению, в ЕКАСУИ не заложен функционал решения узконаправленных задач процесса шлифования головок рельсов в условиях ЖДП. Несовершенство действующей организационной структуры производственного процесса было доказано ранее [34, с. 47-48]. Выявлены следующие недостатки:

1. При планировании и организации работ не учитывается требуемая периодичность выполнения шлифования.
2. При разработке технологического процесса шлифования не учитывают фактическое состояние головок рельсов.
3. Отсутствие должного контроля результатов выполненных работ.

Выводы по разделу 1

1. Вследствие возможных нарушений необходимой периодичности выполнения работ возникает риск прогрессивного роста не удаленных микродефектов и их переходу в категорию ОДР, требующей изъятия рельсов из ЖДП.

2. От момента планирования работ по диагностическим данным до непосредственного выполнения работ проходит неопределенное количество времени, за которое обнаруженные дефекты могут видоизмениться.

3. Приемка выполненных работ завершается составлением соответствующего акта, содержимое которого нигде не фиксируется, в результате чего возникают ситуации возможного нарушения организации выполняемых работ, и, как следствие, отсутствие адресности, т. е. работы проводятся не там, где требуются в первую очередь, а там, где есть возможность выделить технологические «окна».

4. Не всегда реализуется должный контроль результатов выполненных работ, т. к. представителю дистанции пути проблематично качественно оценить и

проконтролировать результат выполненных работ РШП ввиду отсутствия фактических данных о состоянии рельсов до шлифования и отсутствия средств контроля скрытых дефектов (контроль осуществляется средствами дефектоскопии по графику, а не сразу после шлифования).

5. Наиболее часто встречающимися дефектами, которые возможно устранить методом шлифования, являются: трещины и выкрашивания, волнообразный, вертикальный и боковой износ.

2 НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ШЛИФОВАНИЮ РЕЛЬСОВ

2.1 Общая концепция эффективного планирования работ по шлифованию рельсов

Современная организация производственного процесса представляет совокупность взаимосвязанных методов и средств рационального сочетания человеческого труда со всевозможными средствами производства, по результатам которого получается положительный эффект. Для его достижения и реализации всех возможных преимуществ от технологических воздействий шлифования рельсов, необходимо использовать системный подход, в основу которого должно быть заложено четкое планирование работ, обеспечение контроля состояния основных параметров рельсов после проведения шлифования и пр. Одним из наиболее эффективных средств комплексного решения является создание АСУР [48-58].

В ноябре 2021 г. Распоряжением Правительства РФ № 3363-р была утверждена **Транспортная стратегия** до 2030 г. с прогнозом до 2035 г. [59], согласно которой недостаточно высокие темпы внедрения цифровых технологий создают риск существенного технологического отставания российской транспортной системы от уровня развитых стран. С целью недопущения развития подобной ситуации разрабатываемая концепция опирается на ключевые ориентиры развития в сфере железнодорожного транспорта:

- цифровизация железных дорог;
- переход к технологии цифровых двойников в управлении объектами инфраструктуры;
- внедрение технологий прогнозирования развития деградационных изменений.

Современные автоматизированные системы управления (АСУ) способствуют повышению производительности труда, конкурентоспособности, рентабельности и пр. Путем внедрения прогрессивных технологий возможно усовершенствовать производственный процесс без потери качества выполняемых работ. С учетом действующей НТД ОАО «РЖД» [1,7, 60, 61] предлагается следующая принципиальная схема АСУР, представленная на рис. 2.1 [62-68].

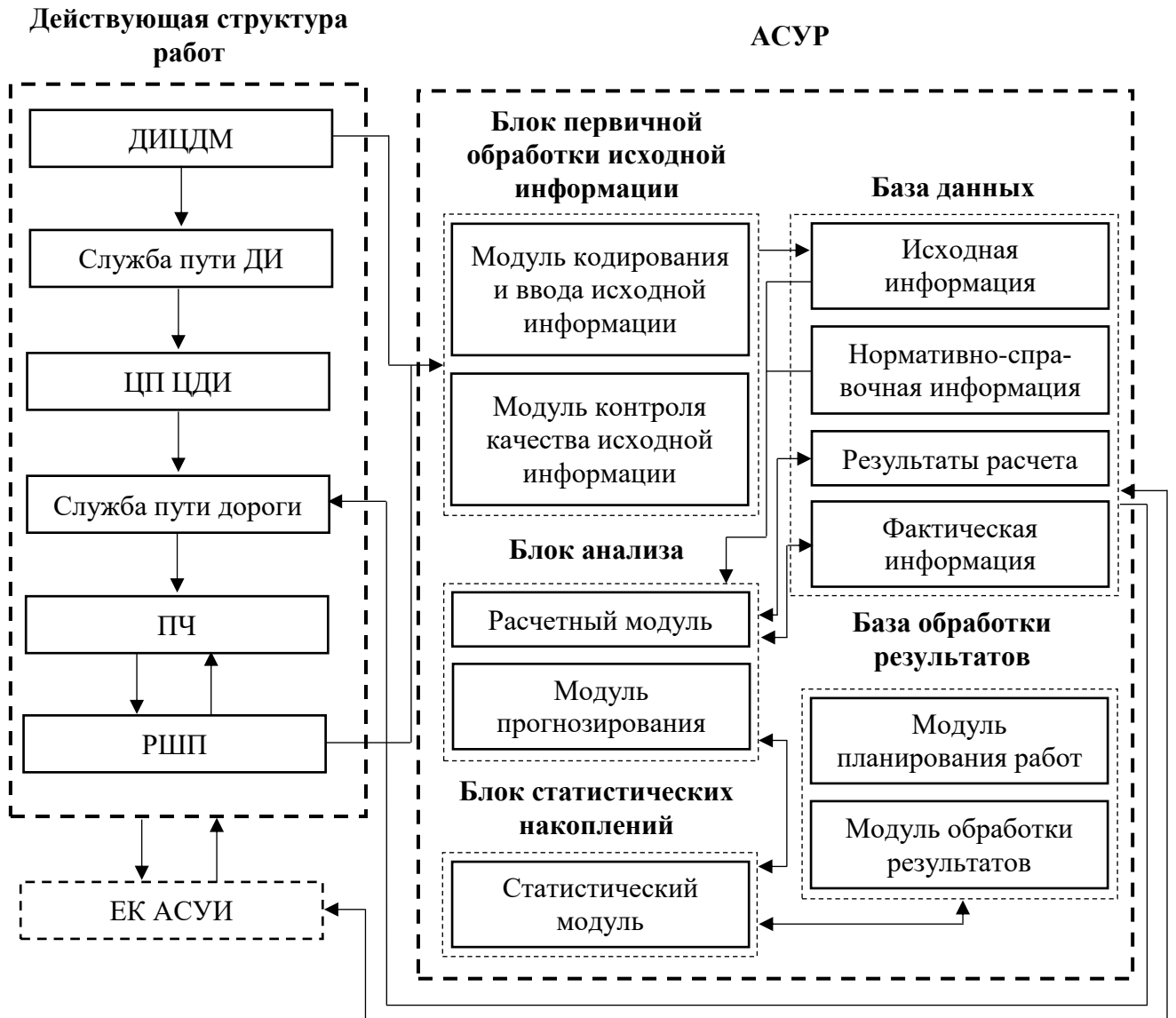


Рисунок 2.1 – Структурная схема работы АСУР

Из рис. 2.1 видно, что комплексно АСУР состоит из базы данных (БД) и блоков первичной обработки исходной информации (БПОИИ), анализа (БА),

статистических накоплений (БСН), обработки результатов (БОР). Информационные потоки показаны на схеме линиями. Направление исходящей информации указано стрелками.

Результаты проведенных измерений ДИЦДМ передаются в АСУР, а именно в БПОИИ, который, в свою очередь, состоит из двух модулей: кодирования и ввода ИИ, а также контроля качества ИИ.

Из БПОИИ информация поступает в БД, которая является основным звеном АСУР, поскольку представляет собой совокупность объектов для хранения и обработки информации. Данные, поступающие в БД, делятся на четыре категории: ИИ, нормативно-справочная информация (НСИ), фактическая информация, а также результаты расчета. Стоит отметить то, что БД предпочтительно создавать на основе транзакционных таблиц, поскольку подобная архитектура предоставляет возможность пользования современными функциями, такими как материализованные представления, агрессивное кэширование данных и эффективная репликация между хранилищами.

От ДИЦДМ в модуль ИИ (БД) через БПОИИ поступает информация о перегоне, станции, ЖДП, измерительном средстве, протяженности участка (начало и конец), среднем значении (среднеквадратическое отклонение) глубины неровности с классификацией волны для левой и правой нитей и пр.

Модуль НСИ разделен на две категории: внутреннюю и внешнюю. Во внутренней расположена информация, используемая непосредственно в БД (например, единицы измерения величин), а во внешней – информация, которой пользователь может руководствоваться во время работы (например, инструкции, положения и распоряжения).

Для автоматизации расчетов в БД предусмотрен модуль хранения результатов. Данные, содержащиеся в указанном модуле, хранятся в транзакционных таблицах, поскольку постоянно пополняются.

С целью выполнения своевременного шлифования и мониторинга текущего технического состояния рельсов в БД предусмотрен модуль хранения фактической информации, который также постоянно пополняется (добавляются новые значения, производится актуализация имеющихся данных). В данный модуль информация поступает от ПЧ в форме акта выполненных работ.

Данные из модулей ИИ и НСИ поступают в БА, который является важной составляющей АСУР. В качестве основы блока принята разработанная классификация дефектов рельсов по СВ. На основании проведенного ранжирования дефектов, адресность выполнения работ по шлифованию рельсов определяется на основе решения стохастической задачи, в которой процесс принятия решения о необходимости шлифования представляется тремя состояниями. Для решения данной задачи применены методы динамического программирования. С целью формирования оптимальной стратегии, благодаря которой доходы компании будут максимальными, а расходы – минимальными, структура процесса представлена в виде матрицы, элементами которой являются величины расхода, возникающие при переходе рельсов из одной группы по СВ в другую при воздействии на них процессом шлифования. Матрицы переходных вероятностей и возникающих при этом доходов зависят от альтернатив возможных решений, которыми располагает предприятие выполняющее данные работы.

БА не сможет функционировать в полной мере без работы, созданной матрицы вероятностей, которой, в свою очередь, необходимы значения вероятностей перехода (или не перехода) рельсов из одной СВ в другую по результатам пропущенного тоннажа. Для определения искомых вероятностей в модуле прогнозирования выполняется анализ дальнейшего технического состояния рельсов на основе данных из БД, в которой путем обработки эмпирических данных из различных исследований была впервые сформирована единая обобщенная база (более подробно см. раздел 3 «Прогнозирование технического состояния рельсов»). В БД содержится сводная таблица математических зависимостей для всех основных типов дефектов, удаляемых шлифованием (трещины и выкрашивания,

а также вертикальный, боковой износ и волнообразный износ), на разных участках ЖДП: при движении по прямой, в кривых различного радиуса, а также на подъемах и спусках. Построение прогнозов позволяет экономить значительную часть бюджета компании за счет увеличения срока эксплуатации ЖДП, поскольку своевременная организация шлифовальных работ предупреждает образование дефектности, уменьшает риск образования дефектов контактно-усталостного характера и пр. Кроме того, в результате удаления дефектов возможно достичь уменьшение влияния вертикальных динамических сил, а также шумовых и вибрационных воздействий. В результате у компании появляется возможность уменьшить расходы по содержанию и ремонту ПС, а также увеличить срок его службы благодаря замедлению усталостных процессов.

Рассмотрим более подробно работу основных структурных элементов АСУР. Модуль кодирования и ввода ИИ необходим для унификации формы хранения данных, обеспечения однозначной идентификации объектов, сокращения затрат на передачу данных, а также для экономии памяти серверов. Модуль контроля качества ИИ является важным барьером на пути передачи информации, поскольку от качества представленных данных будут зависеть конечные показатели. При отсутствии данного модуля в цепочке работы АСУР, результаты расчетов могут повлечь значительные убытки для компании, работа которой характеризуется большим оборотом денежных средств и регламентированными сроками. Поскольку ИИ, поступившая от ДИЦДМ, влияет на принятие важных управленческих решений, в задачи модуля контроля качества ИИ включаются:

- определение происхождения поступающей ИИ;
- выявление полного соответствия минимально необходимой ИИ;
- обеспечение проверки актуальности ИИ и др.

Блок БД состоит из самой БД и системы управления БД (СУБД), задачами которой являются предоставление доступа к БД группе лиц, а также управление хранением и обработка данных.

Укрупненно архитектуру СУБД возможно представить тремя уровнями: концептуальным, внутренним и внешним (рис. 2.2).

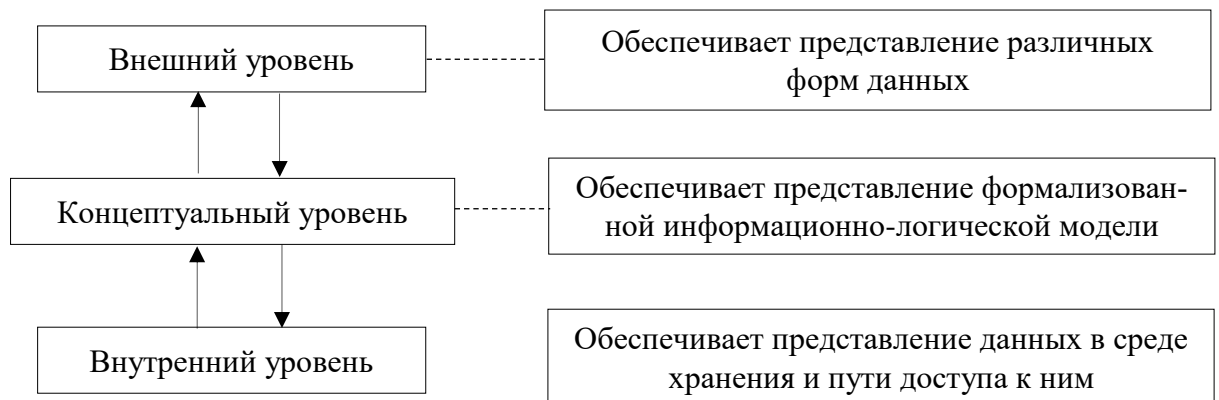


Рисунок 2.2 – Архитектура СУБД

Поскольку к БД будут иметь доступ разные группы лиц (в зависимости от должности, роли в проекте и т. д.), то форма представления данных должна быть различной. Так, например, сотрудники ПЧ смогут просматривать адресный план шлифования с итоговыми данными, а сотрудники ДИ будут иметь возможность развертывания описательной части по каждому расчетному пункту. С целью выполнения данной функции в архитектуру БД включен внешний уровень.

Внедрение АСУР позволит проводить своевременное шлифование рельсов, тем самым экономить значительную часть бюджета компании за счет увеличения срока эксплуатации рельсов.

Создание АСУР предполагает реализацию следующих принципов, обеспечивающих получение максимального экономического эффекта, при планировании работ по шлифованию рельсов:

- учитывать смешанный характер грузового, пассажирского и скоростного движений, планировать работы исходя из условий эксплуатации отдельных участков ЖДП с применением превентивного, корректирующего и ремонтного шлифования;

– назначать периодичность шлифования исходя из скорости возникновения и развития наиболее характерного дефекта на конкретном участке ЖДП и необходимости удаления всех возможных дефектов;

– достигать максимальный экономический эффект от шлифования рельсов за счет частого шлифования с наименьшим количеством проходов, а при необходимости больших съемов металла совмещать работу двух и более РШП на перегоне.

Предлагаемые направления развития производственного процесса шлифования рельсов в перспективе позволят устранить недостатки в организационной структуре и, как следствие, повысить эффективность функционирования и качество организации производственной системы за счет обеспечения периодичности выполнения работ, учета фактического состояния рельсов и обеспечения взаимосвязи результатов планирования и выполнения работ по шлифованию рельсов.

Таким образом, достижение результативности получается на основе формирования технически, технологически и экономически сбалансированной модели.

Повышение результативности производственного процесса шлифования рельсов возможно достичь при следовании определенной вычислительной процедуре (алгоритму). Алгоритм организации планирования работ представляет собой точно установленные последовательности действий, выполнение которых ведет к решению поставленной задачи. Разработанный алгоритм обладает формальными свойствами: дискретностью (включает в себя подалгоритмы), упорядоченностью (имеет расстановку действий), детерминированностью (выходной результат зависит от входных данных), формальностью (не допускается неоднозначности при описании операций), результативностью (на выходе выдается искомый результат) и конечностью (работа завершается за определенное количество шагов).

Укрупненно алгоритм планирования работ можно представить следующим образом (см. табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Алгоритм планирования работ по шлифованию рельсов

Шаг алгоритма	Действие
1	заполнение таблицы исходных данных
2	определение значений прогнозируемых дефектов
3	присвоение дефектам СВ
4	сведение расчетных данных в единую таблицу
5	выбор модели динамического программирования
6	составление матриц переходных вероятностей
7	определение прогнозируемой величины стоимости работы РШП
8	определение общего ущерба от несвоевременного шлифования рельсов
9	составление матриц расходов
10	определение прогнозируемых расходов и выбор оптимальной стратегии
11	присвоение ранга приоритетности и определение порядка шлифования рельсов
12	составление плана работ

2.2 Математическая модель определения стратегии планирования работ по шлифованию рельсов

При разработке математической модели планирования работ по шлифованию рельсов, были использованы труды ученого из университета Арканзаса Hamdy A. Taha [69].

Как известно, плановое проведение работ по техническому обслуживанию ЖДП позволяет снизить интенсивность износа рельсов и продлить срок их службы, уменьшив, таким образом, эксплуатационные расходы. Помимо этого, достигается высокий уровень надежности и эксплуатационной готовности обслуживаемых элементов ЖДП.

Применительно к рельсошлифованию, правильно организованное, технически и экономически обоснованное технологическое воздействие характеризуется своевременным и точно спланированным проведением работ по шлифованию рельсов с оптимальным использованием имеющихся ресурсов.

В связи с вышеизложенным возникают следующие вопросы: «С какой периодичностью необходимо проводить шлифование рельсов?», «Как периодичность шлифования будет зависеть от условий эксплуатации ЖДП и видов возникающих дефектов рельсов?», «Какая периодичность шлифования и какой съём удаляемого металла экономически более целесообразен?».

Для ответа на поставленные вопросы планирование работ по шлифованию рельсов можно позиционировать как задачу принятия решений. Тогда основными компонентами модели исследования операций будут являться возможные стратегии планирования, ограничения и критерии отбора стратегий. Так, например, главным ограничением будет являться недопущение перехода рельса в категорию ОДР. Стратегии планирования работ будут зависеть от определенного набора переменных таких, как: величина дефекта по истечению определенного периода времени, затраты на устранение выявленных дефектов и т. д. Эти данные будут использоваться при представлении критериев и ограничений в виде соответствующих математических функций. По итогам формализации будет получена математическая модель, решением которой станет определенный набор значений переменных.

Сформированная стратегия планирования работ должна будет удовлетворять всем ограничениям и минимизировать расходы, связанные с проведением шлифовальных операций. Целесообразно рассматривать задачу именно с точки зрения минимизации расходов, поскольку структурные подразделения работают по смете.

На сегодняшний день для решения математических моделей разных типов применяют следующие методы:

- линейного программирования;
- многокритериальной оптимизации;
- нелинейного программирования;
- сетевых моделей;
- целочисленного программирования;

– динамического программирования.

Наиболее часто используемым является метод линейного программирования (ограничения и функция критерия являются линейными), но в данном случае наиболее подходящим методом является динамическое программирование, в котором процесс принятия оптимальной стратегии планирования работ может быть разбит на этапы. Большинство представленных методов позволяют решить практически любую задачу путем применения алгоритма, на выходе которого обнаруживается оптимальная стратегия (решение). Если метод линейного программирования применяется для выбора рентабельного крупномасштабного решения в непростых случаях, то метод динамического программирования используется при решении менее значимых задач при минимальном вмешательстве человека в процесс принятия решений.

Термин «динамическое программирование» носит именно такое название в связи с тем, что данный математический метод ранее использовался в качестве оптимизации динамических систем, которые имеют свойство изменяться во времени. Поэтому данный метод лучше всего подходит для рассматриваемого процесса планирования. Значения дефектов рельсов также изменяются во времени. Благодаря данному методу становится возможно разбить процесс планирования работ на отдельные шаги, выполнение которых ведет к искомому результату с учетом стечения времени.

Сложность разработки математической модели определения оптимальной стратегии планирования работ по шлифованию рельсов заключается в отсутствии точно известных данных. Так, например, для выбора оптимальной стратегии нужно спрогнозировать значение дефекта в том или ином рельсе с течением времени после его обнаружения, поскольку между обнаружением и удалением дефекта проходит N количество дней заранее неизвестных. Невозможно вычислить и принять единую изменяющуюся величину во времени, т. к. данные будут переменными и зависимыми от пропущенного тоннажа, типа дефекта, условий эксплуатации, плана ЖДП и пр.

Для решения сложившейся ситуации возможно прибегнуть к законам теории вероятности. Для этого значения дефектов рельсов необходимо классифицировать по нескольким СВ. Принято по три СВ для каждого типа рассматриваемых дефектов, о которых более подробно изложено в следующем подразделе диссертации 2.3 «Ранжирование дефектов рельсов по степеням важности». Чем больше значение СВ, тем больше величина дефекта и, соответственно, выше риск перехода рельса в категорию ОДР. Так, например, при долгосрочном планировании с проведением шлифовальных операций имеется n количество СВ, а дефект G может повториться m раз, то вероятность перехода в СВ для дефекта G определяется следующим образом:

$$P\{G\} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n}. \quad (2.1)$$

Однако рельсы невозможно шлифовать бесконечное число раз, поскольку постоянно происходит безвозвратное удаление слоев металла. По результатам проделанной работы рельс должен соответствовать проектному профилю (быть максимально приближенным к нему). Так, например, допускается отклонение значений от проектного профиля не более 0,1 мм на поверхности осевой линии профиля и 0,15 мм на боковой рабочей выкружке [7].

Учитывая все вышеприведенные доводы, можно сделать вывод, что планирование работ по шлифованию рельсов сводится к стохастическому (случайному) процессу. Возникает необходимость применения Марковского анализа, который используется в ситуациях, когда прогнозируемое состояние того или иного объекта зависит только от его фактического состояния [70-73]. В этом случае структура финансовых расходов на проведение работ представляется в виде матрицы, элементами которой являются значения расходов, возникающие и видоизменяющиеся при переходе дефекта из одной СВ в другую.

Входными данными для Марковского анализа станут СВ и возможные переходные вероятности дефектов, а также зависимости дефектов от пропущенного тоннажа. Выходными данными будут являться вероятности перехода (не

перехода) дефектов в иную СВ или в категорию ОДР. К недостаткам Марковского анализа возможно отнести необходимость прогнозирования технического состояния рельсов для определения переходных вероятностей. Для процесса планирования работ не обязательно владеть знаниями операций с матрицами или иметь технические знания для понимания расчетных операций, поскольку в АСУР предполагается скрыть расчетные операции для пользователей и на выходе работы системы представлять только итоговые данные, необходимые для принятия решений.

Значения матриц переходных вероятностей и соответствующих им матриц расходов будут зависеть от исходных данных, которые упоминались ранее. В итоге процесс планирования работ заключается в поиске оптимальной стратегии, представляющую минимальные прогнозируемые расходы на проведение работ. Таким образом, для оценки эффективности шлифовальных операций принят минимум функции расходов, как критерий, наиболее объективно отражающий все составные затраты, связанные с выполнением и невыполнением своевременного шлифования, т. е.:

$$r_{ij}^k \rightarrow \min. \quad (2.2)$$

Итак, для достижения поставленной цели были применены следующие методы исследования:

- Марковский анализ;
- динамическое программирование.

В рамках планирования работ необходимо принять решение о целесообразности проведения шлифования рельсов. При этом может быть два варианта развития событий:

1. Шлифование рельсов не назначать ($k = 1$ – первая стратегия поведения).
2. Шлифование рельсов назначать ($k = 2$ – вторая стратегия поведения).

Определению переходных вероятностей посвящен 3 раздел диссертации «Прогнозирование технического состояния рельсов».

При любом из двух вариантов вероятность изменения СВ дефекта рельса можно представить, как вероятности перехода в следующей цепи Маркова:

$$\begin{array}{c}
 \text{Состояние рельсов при} \\
 \text{следующей проверке} \\
 \hline
 \text{CB1 CB2 CB3} \\
 p^k = \begin{pmatrix} p_{11}^k & p_{12}^k & p_{13}^k \\ p_{21}^k & p_{22}^k & p_{23}^k \\ p_{31}^k & p_{32}^k & p_{33}^k \end{pmatrix}, \quad \left. \begin{array}{l} \text{CB1} \\ \text{CB2} \\ \text{CB3} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Текущее состояние} \\ \text{рельсов} \end{array} \quad (2.3)
 \end{array}$$

где p_{ij}^k – вероятность присвоения СВ при следующей проверке участка ЖДП.

В графическом виде матрицу (2.3) можно представить следующим образом (рис. 2.3):

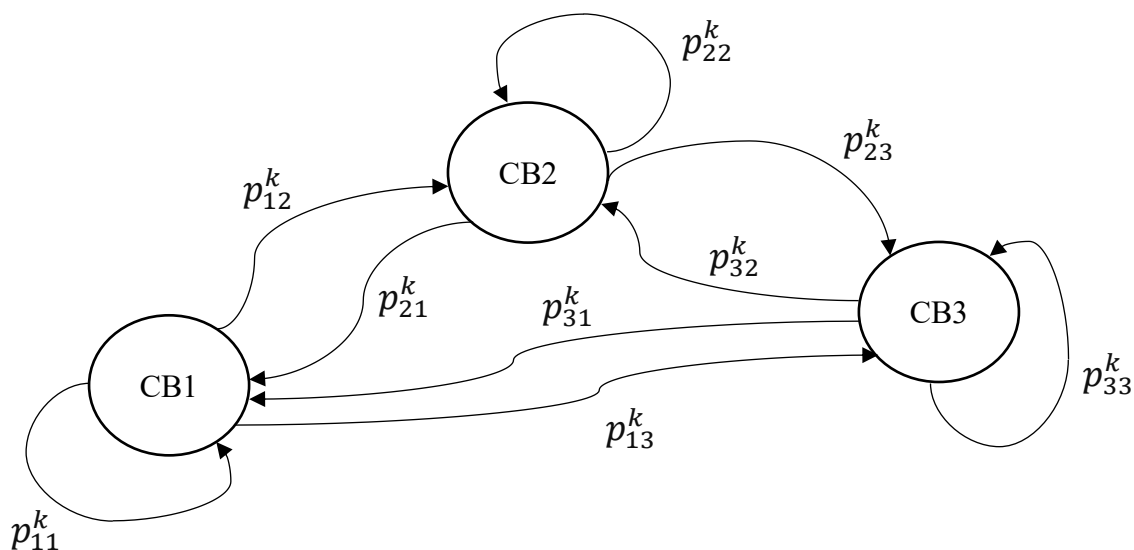


Рисунок 2.3 – Графическая цепь маркова

Если рельсам была присвоена СВ, а шлифовальные операции не проводились, то при следующей проверке она может остаться прежней или измениться с вероятностью p_{ij}^1 . Так, например, по результатам текущей проверки наблюдается дефект рельсов со СВ2. При следующей проверке рельсам может быть также присвоена СВ2 с вероятностью p_{22}^1 или СВ3 с вероятностью p_{23}^1 . В результате,

шлифование рельсов может изменить переходные процессы вероятности P^1 . В таком случае возникнет новая матрица переходных вероятностей P^2 .

В качестве критерия принятия решений о необходимости шлифования принята матрица расходов R^k , которая соответствует матрице переходных вероятностей P^k :

$$R^k = \|r_{ij}^k\| = \begin{pmatrix} r_{11}^k & r_{12}^k & r_{13}^k \\ r_{21}^k & r_{22}^k & r_{23}^k \\ r_{31}^k & r_{32}^k & r_{33}^k \end{pmatrix}, \quad (2.4)$$

Определению расходов при проведении шлифовальных операций посвящен 4 раздел диссертации «Расчет ожидаемых расходов на содержание рельсов».

При планировании работ по шлифованию рельсов необходимо учитывать «горизонт» эксплуатации ЖДП. В случае скорого планового проведения капитального ремонта, реконструкции ЖДП и пр. дальнейшие расчеты сводятся к математической модели с конечным числом этапов. Зная дату проведения работ, возможно принять оптимальное решение (шлифовать рельсы или нет), основываясь на минимизации предстоящих расходов. Пусть число СВ для каждого этапа (шлифовальной операции) равно m . Через $f_n(i)$ обозначен оптимальный ожидаемый расход, понесенный на этапах от n до N включительно при условии, что система находится в начале этапа n в степени i . Тогда обратное рекуррентное уравнение, связывающее f_n и f_{n+1} будет представлено в виде:

$$f_n(i) = \min_k \{ \sum_{j=1}^m p_{ij}^k [r_{ij}^k + f_{n+1}(j)] \}, n = 1, 2, \dots, N, \quad (2.5)$$

где $f_{n+1}(j)=0$ для всех j ; r_{ij}^k – элемент матрицы расходов R при переходе системы из i в j при альтернативе k ; m – число степеней системы; k – альтернативные стратегии.

Представленное уравнение (2.5) заключается в том, что накапливающиеся расходы $r_{ij}^k + f_{n+1}(j)$ получаются в результате перехода из степени i на этапе n в степень j на этапе $n + 1$ с вероятностью p_{ij}^k .

Ожидаемые расходы v_i^k , обусловленные переходом из степени i в степень j при заданной альтернативе k , находятся по формуле:

$$v_i^k = \sum_{j=1}^m p_{ij}^k r_{ij}^k. \quad (2.6)$$

Принимая во внимание уравнение (2.6), рекуррентное уравнение динамического программирования можно представить в следующем виде:

$$f_N(i) = \min_k \{v_i^k\}, \quad (2.7)$$

$$f_n(i) = \min_k \{v_i^k + \sum_{j=1}^m p_{ij}^k f_{n+1}(j)\}, n = 1, 2, \dots, N - 1. \quad (2.8)$$

В случае отсутствия планового проведения капитального ремонта, реконструкции ЖДП и пр. дальнейшие расчеты сводятся к математической модели с бесконечным числом этапов, в основу которой возможно заложить 2 метода расчета. Первый метод включает в себя перебор всех возможных стратегий планирования работ и является наиболее актуальным при небольшом количестве рассматриваемых стратегий. Второй метод заключается в определении стратегии с минимальными расходами итерационным путем.

При использовании первого метода определяются все возможные стратегии планирования работ k , приведенные в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Возможные стратегии планирования работ

Стратегия планирования работ	Действие
1	вообще не шлифовать рельсы
2	выполнять шлифование при любом состоянии рельсов
3	выполнять шлифование только в том случае, когда рельсам присвоена СВ1
4	выполнять шлифование только в том случае, когда рельсам присвоена СВ2
5	выполнять шлифование только в том случае, когда рельсам присвоена СВ3
6	выполнять шлифование только в том случае, когда рельсам присвоена СВ1 или СВ2
7	выполнять шлифование только в том случае, когда рельсам присвоена СВ1 или СВ3
8	выполнять шлифование только в том случае, когда рельсам присвоена СВ2 или СВ3

Каждой стратегии соответствуют свои матрицы переходных вероятностей и расходов, которые можно построить на основе матриц P^1 , P^2 , R^1 и R^2 . Например,

для стратегии $k = 5$, требующей назначения шлифовальных операций только тогда, когда рельсам присвоена СВЗ, результирующие матрицы переходных вероятностей и расходов задаются следующими выражениями:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11}^1 & p_{12}^1 & p_{13}^1 \\ p_{21}^1 & p_{22}^1 & p_{23}^1 \\ p_{31}^2 & p_{32}^2 & p_{33}^2 \end{pmatrix}; \quad (2.9)$$

$$R = \begin{pmatrix} r_{11}^1 & r_{12}^1 & r_{13}^1 \\ r_{21}^1 & r_{22}^1 & r_{23}^1 \\ r_{31}^2 & r_{32}^2 & r_{33}^2 \end{pmatrix}, \quad (2.10)$$

Эти матрицы отличаются от P^1 и R^1 только третьей строкой, включенной в них из матриц P^2 и R^2 . Причина этого в том, что P^2 и R^2 – матрицы, соответствующие ситуации, когда рельсы шлифуются при любой СВ в независимости от заложенного бюджета и интенсивности эксплуатации ЖДП.

Долгосрочные вероятности π_i^k матрицы переходных вероятностей P^k , соответствующей стратегии k , находятся путем решения системы:

$$\begin{cases} \pi^k P^k = \pi_m^k \\ \pi_1^k + \pi_2^k + \dots + \pi_m^k = 1 \end{cases} \quad (2.11)$$

где $\pi^k = (\pi_1^k, \pi_2^k, \dots, \pi_m^k)$.

Ожидаемый расход за один шаг Q^k , соответствующий стратегии k , руб.:

$$Q^k = \sum_{i=1}^m \pi_i^k v_i^k. \quad (2.12)$$

Оптимальная стратегия k должна соответствовать условию:

$$Q^k = \min\{Q^k\}. \quad (2.13)$$

2.3 Ранжирование дефектов рельсов

Во избежание негативных последствий при обнаружении дефектов рельсов, вводятся скоростные ограничения для ПС (табл. 2.3). В зависимости от величины дефекта, в Инструкции [7] приняты нормы, основанные на экспериментальных данных научно-исследовательских центров. Задержки поездов фикси-

руются в комплексной автоматизированной системе учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений (КАСАТ), а также в комплексной автоматизированной системе учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ).

Таблица 2.3 – Зависимость ограничения скорости движения от значения дефекта

Тип дефекта	Код дефекта	Значение дефекта	Скорость движения не более, км/ч	Замена рельса
трещины и выкрашивания	10.1, 10.2, 11.1, 11.2, 12.1., 12.2 («узкие» дефекты)	$2,0 < h \leq 3,0$	120	не требуется
		$3,0 < h \leq 4,0$	100	не требуется
		$4,0 < h \leq 6,0$	70	в плановом порядке
		$6,0 < h \leq 8,0$	40	в первоочередном порядке
		$8,0 < h$	25	
	10.1, 10.2, 11.1, 11.2, 12.1., 12.2 («широкие» дефекты)	$1,0 < h \leq 2,0$	120	не требуется
		$2,0 < h \leq 4,0$	100	не требуется
		$4,0 < h \leq 6,0$	70	в плановом порядке
		$6,0 < h \leq 8,0$	40	в первоочередном порядке
		$8,0 < h$	25	
	13.1	$2,0 < h \leq 4,0$	100	не требуется
		$4,0 < h \leq 6,0$	70	не требуется
		$6,0 < h \leq 8,0$	40	в первоочередном порядке
		$8,0 < h$	25	
	16.3, 16.4 17.3, 17.4	$2,0 < h \leq 3,0$	120	не требуется
		$3,0 < h \leq 4,0$	100	не требуется
$4,0 < h \leq 6,0$		70	в плановом порядке	
$6,0 < h \leq 8,0$		40	в первоочередном порядке	
$8,0 < h$		25		
волнообразный износ	40.0	$1,0 < h \leq 1,5$	140	не требуется
		$1,5 < h \leq 2,0$	100	не требуется
		$2,0 < h \leq 3,0$	71	не требуется
		$3,0 < h$	40	в первоочередном порядке
вертикальный износ	41.0	$1,5 < h \leq 2,0$	140	не требуется
		$2,0 < h \leq 3,0$	120	не требуется
		$3,0 < h \leq 4,0$	100	не требуется
		$4,0 < h \leq 6,0$	70	не требуется
		$6,0 < h$	40	в первоочередном порядке
боковой износ	44.0	$1,0 < h \leq 2,0$	140	не требуется
		$2,0 < h \leq 4,0$	100	не требуется
		$4,0 < h \leq 6,0$	71	не требуется
		$6,0 < h$	40	в первоочередном порядке

При отклонении поезда от графика движения увеличивается время в пути следования. Это приводит к дополнительным расходам на оплату рабочего времени локомотивной бригады, электроэнергии (топлива) и пр. При единичном дефектном участке ЖДП на перегоне снижение скорости ПС не окажет особого влияния на доходность холдинга «РЖД» от перевозки. Однако если в пути следования поезда таких участков будет N количество, то задержка может оказать существенное влияние на конечные затраты, поэтому определение наиболее опасных дефектов рельсов в процессе планирования работ особенно важно. В связи с этим образуется задача выбора и обоснования очередности удаления дефекта, т. е. проведение ранжирования, поскольку скорость движения ПС напрямую зависит от величины дефекта рельса: чем больше значение величины дефекта рельса, тем меньше допускаемая скорость движения ПС.

Под ранжированием дефектов понимается процесс, который выполняет АСУР для сортировки дефектов из соображения их релевантности с учетом категории ЖДП, СВ и др.

Учитывая вышеприведенные доводы, в т. ч. данные из табл. 2.3, предлагается новый подход классификации дефектов рельсов (в т. ч. предпосылок возникновения дефектов), основанный на разделении по СВ (табл. 2.4), для интеграции дефектов рельсов и их параметров с технологией шлифования рельсов с целью создания критериальной системы планирования работ.

Таблица 2.4 – Описание СВ

СВ	Описание
1	появление предпосылок к образованию дефекта (назначается профилактическое шлифование)
2	наблюдается дефект (шлифование рельсов назначается по показателю $h_{\text{факт}}$ в зависимости от типа дефекта)
3	дефект активно развивается (шлифование назначается по показателю $h_{\text{факт}}$ в зависимости от типа дефекта)

СВ1 присваивается в том случае, если наблюдаются предпосылки к его развитию (трещины, местный износ, деформация головки, местная коррозия, нарушение прямолинейности и др.). С целью предотвращения развития дефектов

назначается профилактическое шлифование, своевременное проведение которого позволяет эксплуатировать ЖДП без ограничения максимально разрешенной скорости движения.

При возникновении дефектов, рельсам присваивается СВ2. Как правило, данная СВ присваивается при поздней проверки рельсов или при несвоевременном профилактическом шлифовании. Крайне нежелательно доводить рельсы до такого состояния, т. к. в зависимости от показателя $h_{\text{факт}}$ необходимо будет снизить скорость движения поездов.

СВ3 присваивается в том случае, когда дефект уже перешел в активную стадию развития. В таком случае необходимо срочно произвести шлифование в первоочередном порядке, иначе дефект может развиваться до необратимого состояния, в результате которого предстоит выполнять замену рельса.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: чем выше СВ (СВ1 – менее важная; СВ2 – важная, СВ3 – наиболее важная), тем быстрее необходимо провести шлифование рельсов.

Для присвоения СВ необходимо иметь данные о наличии дефектов, их типе и размерах – параметр $h_{\text{факт}}$. В обобщенном виде данные характеристики дефектов представлены в табл. 2.5.

В планировании работ по шлифованию рельсов будет участвовать множество дефектов, присвоение СВ которым будет проводиться посредством АСУР. Алгоритм определения СВ можно представить следующим образом (см. рис. 2.4):

- задаются входные данные дефекта: тип, номер и значение $h_{\text{факт}}$ (в случае определения прогнозной СВ задается $h_{\text{прог}}$);
- значение $h_{\text{факт}}$ сравнивается со значениями $h_{\text{min}}^{\text{СВ1}}$ и $h_{\text{max}}^{\text{СВ1}}$ для соответствующего типа и номера дефекта;
- если значение $h_{\text{факт}}$ попадает в заданный промежуток, то дефекту присваивается СВ1;

– если значение $h_{\text{факт}}$ не попадает в заданный промежуток, то выполняется сравнение со значениями $h_{\text{min}}^{\text{CB2}}$ и $h_{\text{max}}^{\text{CB2}}$;

– если значение $h_{\text{факт}}$ попадает в заданный промежуток, то дефекту присваивается СВ2;

– если значение $h_{\text{факт}}$ не попадает в заданный промежуток, то дефекту присваивается СВ3.

Таблица 2.5 – СВ в зависимости от параметров дефектов

Тип дефекта	Код дефекта	Признаки дефектов	СВ в зависимости от параметра h , мм		
			СВ1	СВ2	СВ3
Трещины и выкрашивания	10.1, 10.2, 11.1, 11.2,	$\vartheta \leq 140$ км/ч, $h > 2$ мм, $l > 25$ мм, $a < 35$ мм («узкий» дефект)	$0 < h \leq 2$	$2 < h \leq 3$	$3 < h \leq 4$
	12.1, 12.2	$\vartheta \leq 140$ км/ч, $h > 1$ мм, $l > 25$ мм, $a \geq 35$ мм («широкий» дефект)	$0 < h \leq 1$	$1 < h \leq 2$	$2 < h \leq 4$
	13.1	$\vartheta \leq 140$ км/ч, $h > 2$ мм, $l > 25$ мм	$0 < h \leq 2$	$2 < h \leq 4$	$4 < h \leq 6$
	16.3, 16.4, 17.3, 17.4	$h > 2$ мм (в зоне сварного стыка)	$0 < h \leq 2$	$2 < h \leq 4$	$4 < h \leq 6$
Волнообразный износ	40.0	$25 < l \leq 150$ см (длинная волна), $h > 1$ мм, $L = 1$ м	$0 < h \leq 1$	$1 < h \leq 1,5$	$1,5 < h \leq 3$
		$2,5 < l \leq 25$ см (короткая волна), $h > 1$ мм, $L = 1$ м	$0 < h \leq 1$	$1 < h \leq 1,5$	$1,5 < h \leq 3$
Вертикальный износ	41.0	$15 < h_6 \leq 20$ мм (для Р65 и Р75),	$0 < h \leq 1,5$	$1,5 < h \leq 3$	$3 < h \leq 6$
Боковой износ	44.0		$0 < h \leq 1$	$1 < h \leq 2$	$2 < h \leq 4$

Согласно Приказу Министерства транспорта РФ от 30 января 2018 г. № 36 «О внесении изменений в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденным приказом Министерства транспорта РФ

от 21 декабря 2010 г. № 286» [74] пропуск поездов по дефектным рельсам осуществлять в зависимости от степени опасности дефекта. Однако четкой градации степеней опасности не приводится.

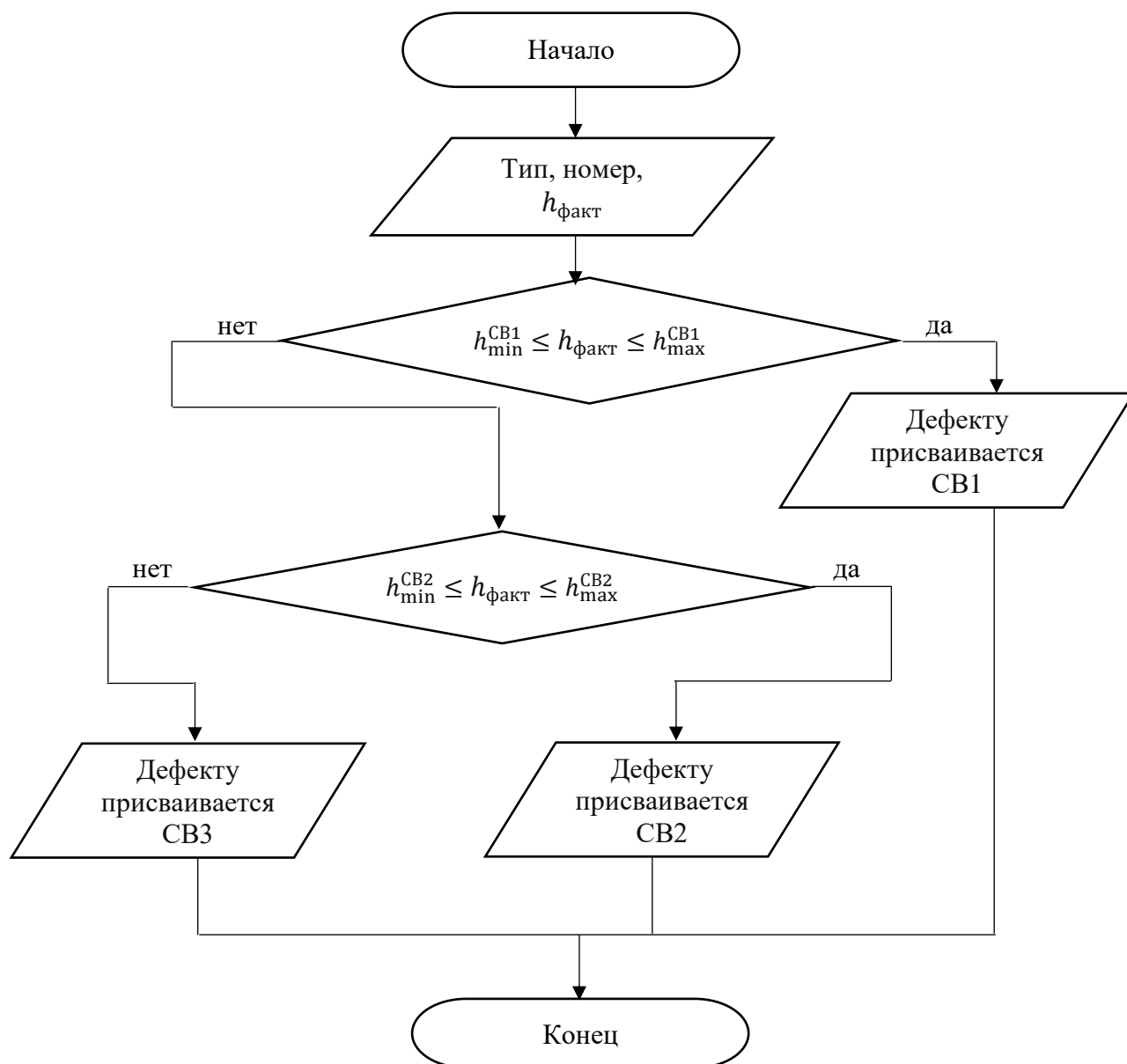


Рисунок 2.4 –Блок-схема алгоритма присвоения СВ

Следующим шагом необходимо провести ранжирование дефектов по приоритетности шлифования рельсов с учетом категории и участка ЖДП, а также СВ.

Согласно статистическим данным, наибольшую доходность холдингу «РЖД» приносят грузовые перевозки (рис. 2.5) [75].

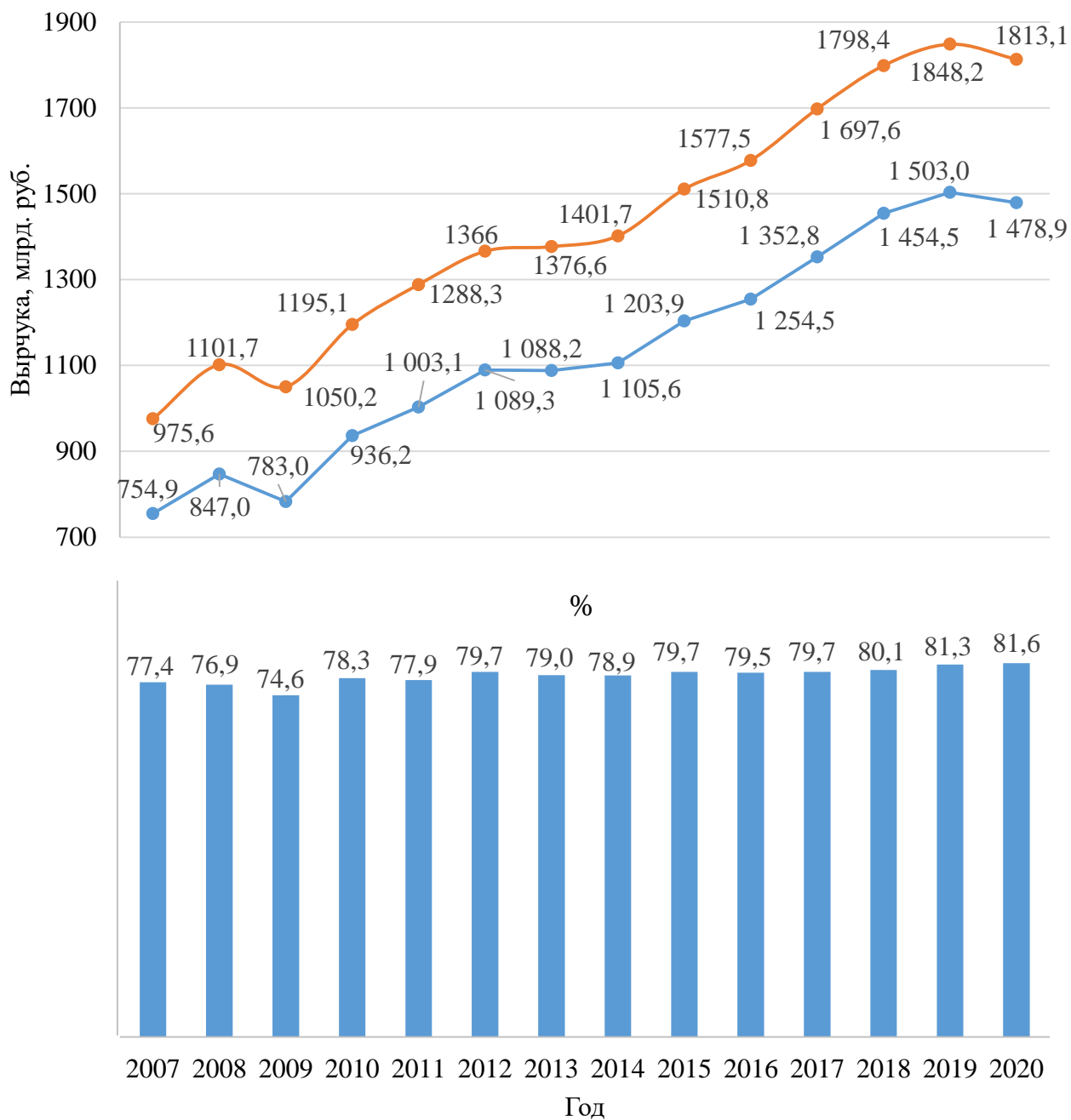


Рисунок 2.5 – Доля выручки от грузовых перевозок в общей выручке
ОАО «РЖД»

Из рис. 2.5 видно, что доходы от грузовых перевозок варьируются в пределах 80 % от всей выручки ОАО «РЖД». Следовательно, ЖДП с высокой грузо-напряженностью представляют наибольшую ценность с точки зрения доходности. Этот фактор будет учтен при ранжировании дефектов рельсов.

ЖДП в зависимости от характера и размера перевозок подразделяются на категории, приведенные в табл. 2.6 [76].

Таблица 2.6 – Классификация ЖДП по категориям

Категория ЖДП	Годовая грузонапряженность, млн т бр.	Максимальная скорость движения, км/ч		
		пассажирских	контейнерных, рефрижераторных	грузовых
особогрузонапряженная	свыше 80	140	140	90
I	свыше 40 до 80	160	160	90
II	свыше 20 до 40	160	140	90
III	свыше 10 до 20	140	120	80
IV	до 10	120	100	80

При ранжировании дефектов также было учтено, что наибольшему износу подвергаются рельсы, уложенные на сложных участках ЖДП – в кривых радиусом менее 350 м, на подъемах и спусках [6]. В текущем ранжировании (см. табл. 2.7) пренебрежем значениями радиуса кривой и уклоном ЖДП.

Таблица 2.7 – Ранжирование дефектов

Категория ЖДП	Тип дефекта											
	трещины и выкрашивания			волнообразный износ			вертикальный износ			боковой износ		
	СВ1	СВ2	СВ3	СВ1	СВ2	СВ3	СВ1	СВ2	СВ3	СВ1	СВ2	СВ3
а) прямой участок ЖДП												
особогрузонапряженная	6	4	2	12	10	8	18	16	14	24	22	20
I	6	4	2	12	10	8	18	16	14	24	22	20
II	6	4	2	12	10	8	18	16	14	24	22	20
III	30	28	26	36	34	32	42	40	38	48	46	44
IV	30	28	26	36	34	32	42	40	38	48	46	44
б) кривой участок ЖДП												
особогрузонапряженная	5	3	1	11	9	7	17	15	13	23	21	19
I	5	3	1	11	9	7	17	15	13	23	21	19
II	5	3	1	11	9	7	17	15	13	23	21	19
III	29	27	25	35	33	31	41	39	37	47	45	43
IV	29	27	25	35	33	31	41	39	37	47	45	43

Числовой ряд 1...48 характеризует категорию приоритетности шлифования рельсов, где: 1...12 – особо важная, 13...28 – наиболее важная, 29...36 – важная, 37...48 – менее важная.

Из табл. 2.7 видно, что предпочтение отдается дефектам в кривых участках ЖДП. Однако значение ранга для одного типа дефекта, наблюдаемого на разных участках ЖДП, может изменяться на одно значение как в большую, так и меньшую сторону. Изменение ранга будет в том случае, если значение одного дефекта больше другого более, чем на 0,5 мм. Данное значение обусловлено скоростью развития дефекта, о которой более подробно изложено в разделе 3 «Прогнозирование технического состояния рельсов».

Для составления плана работ по шлифованию рельсов необходимо определить последовательность удаления дефектов. С этой целью разработан алгоритм присвоения ранга приоритетности в соответствии с табл. 2.7. Чем меньше значение ранга, тем выше приоритетность в очереди на проведение шлифования. Если имеются дефекты с одинаковыми значениями ранга, то приоритет отдается дефекту, который имеет большее значение износа $h_{\text{факт}}$.

Определение порядка приоритетности шлифования рельсов, из имеющегося множества дефектов, выполняется следующим образом (см. рис. 2.6):

- количество дефектов представляется в виде массива натуральных чисел;
- вводится дополнительная (буферная) переменная, которой присваивается значение первоначального первого элемента массива;
- из множества чисел, представленных в массиве, выбирается минимальное число и помещается в начало массива в том случае, если оно уже не является минимальным;
- после перестановки определяется второй минимальный элемент в оставшейся части массива;
- найденный минимальный элемент ставится на второе место в массиве;
- аналогичные действия проводятся со всеми элементами до конца массива;
- полученный ряд чисел по возрастанию указывает последовательность операций по шлифованию (чем меньше число ранга, тем выше приоритетность).

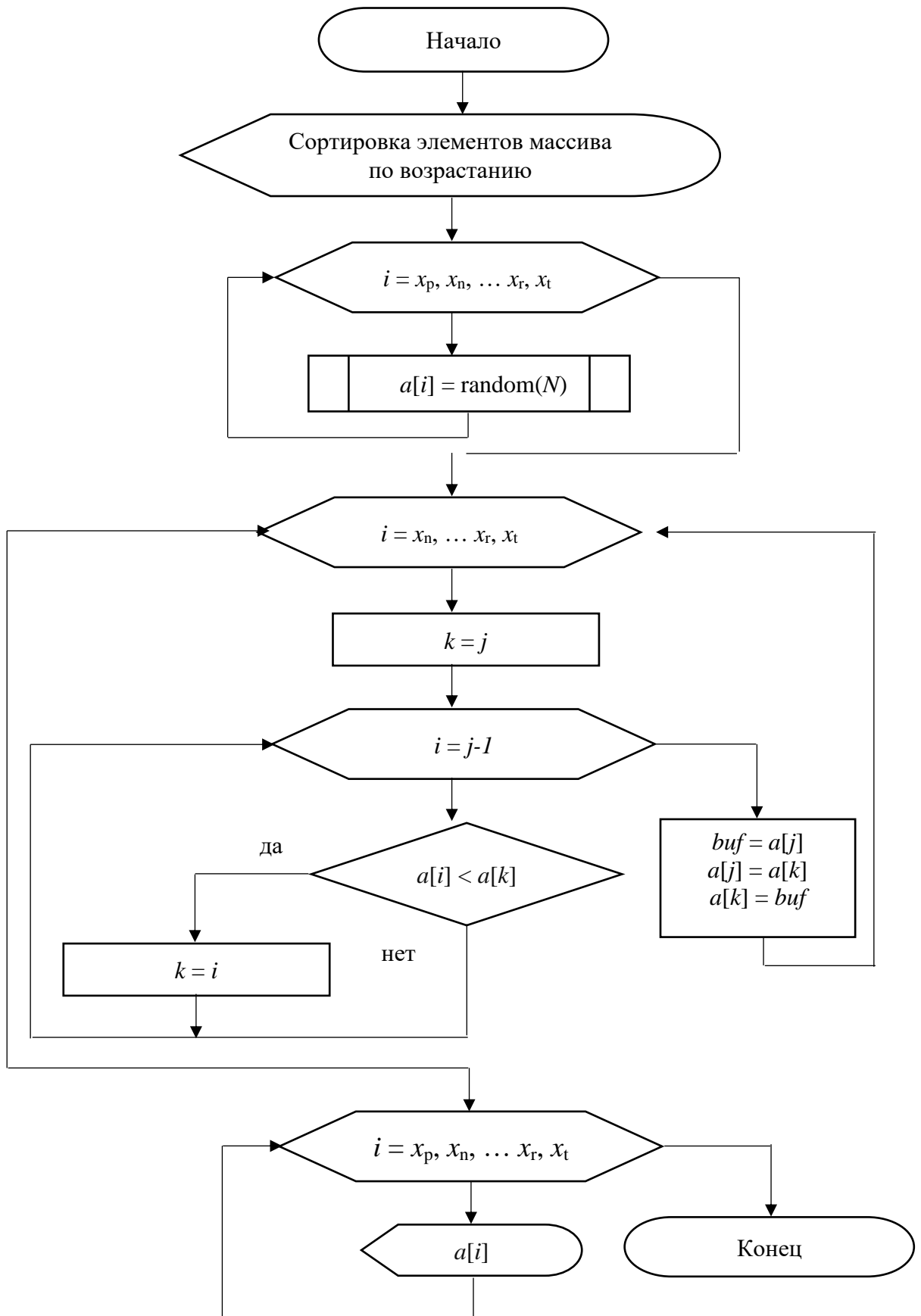


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритма определения порядка приоритетности шлифования из имеющегося множества дефектов

Практическую реализацию процесса определения приоритетности шлифования участков ЖДП укрупненно можно представить в виде блок-схемы (см. рис. 2.7).

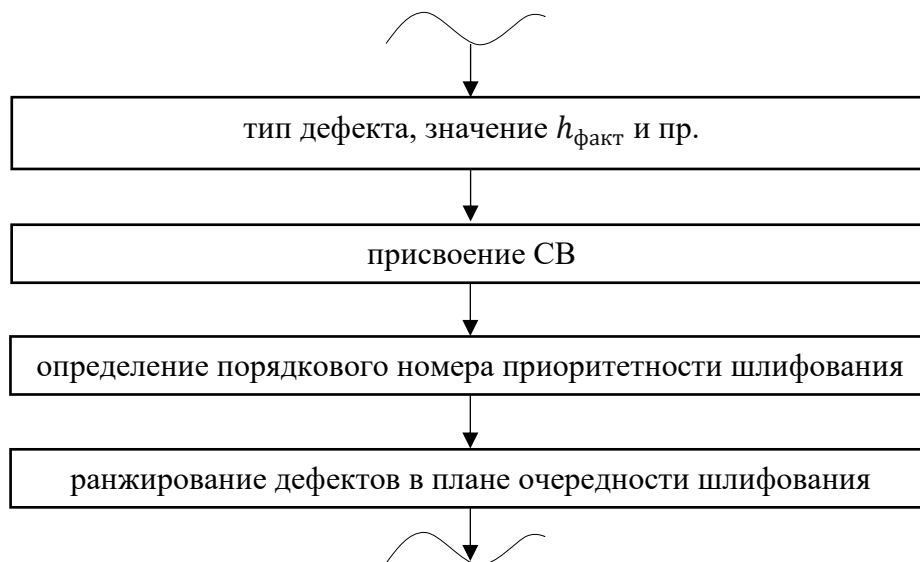


Рисунок 2.7 – Упрощенная блок-схема определения приоритетности шлифования рельсов

В подразделение, которое занимается планированием путевых работ, поступают сведения, содержащие, кроме всего прочего, информацию о типе дефекта и его размере – показателе $h_{\text{факт}}$. Зная эти данные, дефектам присваивается СВ, в соответствии с табл. 2.5. Далее определяется порядковый номер приоритетности шлифования (табл. 2.7).

Выводы по разделу 2

1. Разработанный подход позволит осуществлять планирование работ по шлифованию рельсов с учетом обеспечения безопасности движения поездов, недопущения развития дефектов и образования ОДР, а также получения максимального экономического эффекта.

2. Для функционирования математической модели необходимо разработать способ определения переходных вероятностей p_{ij}^k .

3. Для оценки эффективности шлифовальных операций принят минимум функции расходов, как критерий, наиболее объективно отражающий все составные затраты, связанные с выполнением и невыполнением своевременного шлифования. В качестве критерия принятия оптимальной стратегии планирования работ необходимо определить способ расчета финансов для соответствующих переходных вероятностей.

3 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ

3.1 Установление зависимости величины дефекта рельса от грузонапряженности участка железнодорожного пути

В результате анализа научных работ, направленных на изучение технического состояния рельсов как в РФ, так и за рубежом, не удалось выявить единой базы данных, в которой бы содержалась общая информация о прогнозных величинах развития дефектов головки рельсов, устраняемых методом шлифования в условиях ЖДП [77-80]. Ранее учеными был предложен комплексный подход к исследованию условий возникновения дефектов и прогнозированию ресурса [81], а также проведена оценка технического состояния рельсов по данным мониторинга ЖДП [82].

Путем статистической обработки сведений из разных источников [82-88] была впервые сформирована единая база данных на основе эмпирических данных, которая предоставляет возможность прогнозировать техническое состояние рельсов, определять скорость развития дефектов и более эффективно планировать работы по текущему содержанию ЖДП в автоматизированном режиме с учетом минимизации затрат на проведения работ (восстановления ЖДП) путем применения АСУР, архитектура которой была представлена ранее на рис. 2.1.

В представленном разделе для рассматриваемых типов дефектов построены графики зависимостей износа головки рельса от пропущенного тоннажа, а также составлена сводная таблица математических зависимостей.

Трещины и выкрашивания

Трещины и выкрашивания металла на поверхности головки возникают, как правило, после пропуска гарантийного тоннажа вследствие скопления местных неметаллических включений или из-за недостаточной контактно-усталостной

прочности рельсового металла. На рис. 3.1 показана среднестатистическая кривая зависимости развития трещин и выкрашиваний металла от пропущенного тоннажа на участке ЖДП без уклона.

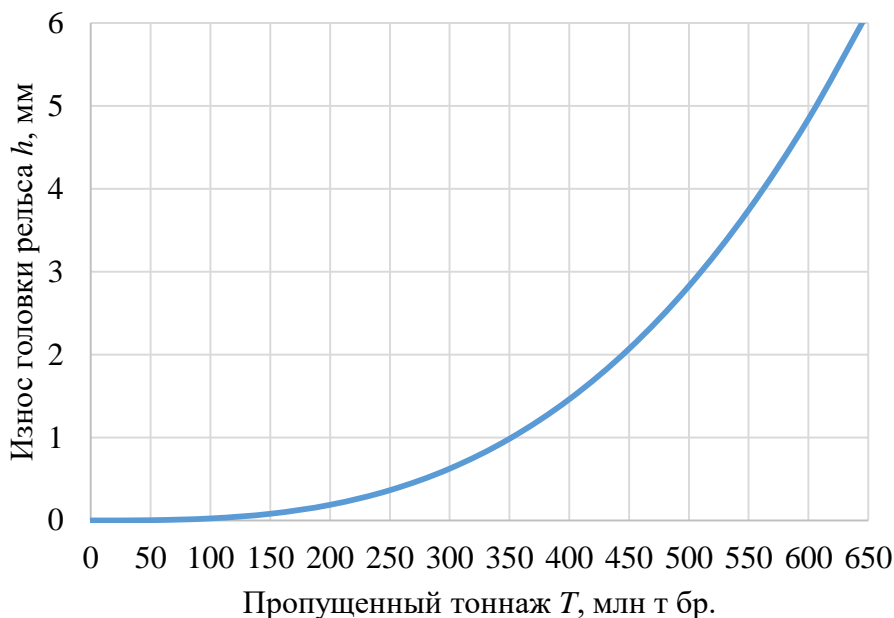


Рисунок 3.1 –Статистическая зависимость образования трещин и выкрашиваний от пропущенного тоннажа на участке ЖДП без уклона

Из рис. 3.1 видно, что кривая начинает резко увеличиваться после пропуска примерно 100 млн т бр. Данный график подтверждает непрерывный рост отдельных трещин контактной усталости в процессе эксплуатации рельсов до достижения предельных значений, которые зависят от исходной твердости изделия, увеличиваясь при ее понижении. Стоит принять во внимание тот факт, что наибольшую опасность представляет возможное слияние нескольких наклонных трещин, которые впоследствии могут образовать единую продольную трещину, соизмеримую с шириной головки рельса. Новообразованная трещина способна изменить направление развития и привести к возникновению поперечной усталостной трещины [10].

Полученные значения сведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Значения функции $h = f(T)$ для рис. 3.1

Пропущенный тоннаж T , млн т бр.	Износ головки рельса h , мм
50	0,01
100	0,02
150	0,08
200	0,19
250	0,36
300	0,62
350	0,99
400	1,46
450	2,07
500	2,83
550	3,75
600	4,84

Волнообразный износ

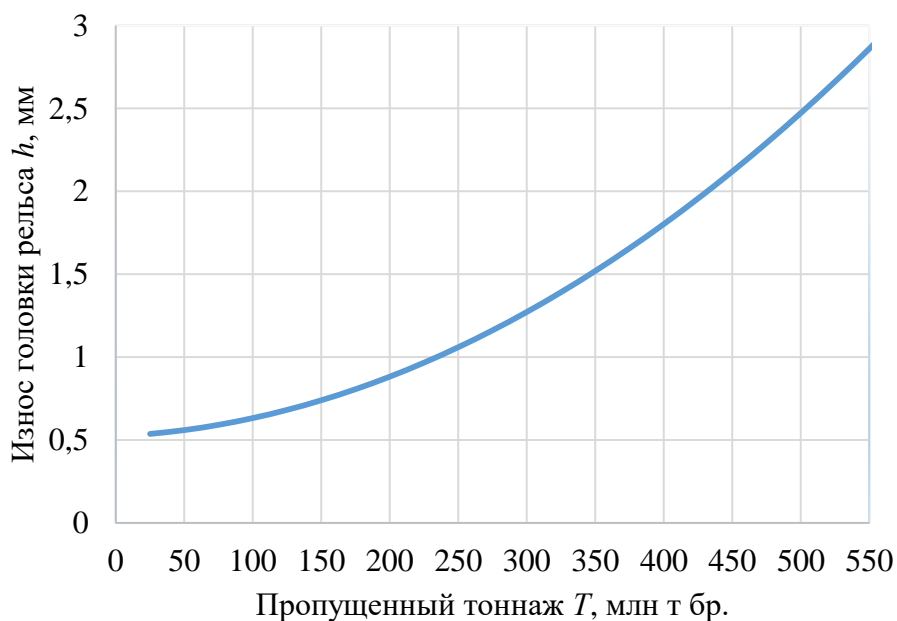


Рисунок 3.2 – Статистическая зависимость образования волнообразного износа головки рельса от пропущенного тоннажа на участке ЖДП без уклона

На некоторых участках ЖДП нередко возникает волнообразный износ, который образуется, как правило, в кривых. Причиной появления данного дефекта является следствие проскальзывания колес локомотива (например, в кривых из-за разных длин наружной и внутренней нитей). Кроме того, причиной дефекта

может являться заводской брак из-за возникновения биения на рельсоправильных станках. На рис. 3.2 показана среднестатистическая кривая зависимости образования волнообразного износа головки рельса от пропущенного тоннажа на участке ЖДП без уклона.

Из рис. 3.2 видно, что кривая плавно увеличивается в течение всего периода эксплуатации ЖДП и достигает предельных значений при пропущенном тоннаже более 550 млн т бр. В этом случае рельсы подлежат замене в первоочередном порядке. Основными признаками наличия волнообразного износа являются шум и усиленные колебания рельсов при движении поезда, которые приводят к повышенному механическому износу шпал.

Полученные значения сведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Значения функции $h = f(T)$ для рис. 3.2

Пропущенный тоннаж T , млн т бр.	Износ головки рельса h , мм
50	0,56
100	0,63
150	0,74
200	0,88
250	1,06
300	1,27
350	1,52
400	1,80
450	2,12
500	2,47
550	2,86

Вертикальный износ

Вертикальный износ возникает в случае несоответствия заявленной прочности металла головки рельса условиям ее давления колесами ПС. При значительном износе в металле возникают растягивающие напряжения, которые впоследствии могут стать катализатором образования продольных вертикальных трещин. На рис. 3.3 показана среднестатистическая кривая зависимости развития вертикального износа головки рельса от пропущенного тоннажа [10].

Из рис. 3.3 видно, что на прямых участках ЖДП вертикальный износ развивается значительно медленнее. Кроме того, чем меньше радиус кривой, тем интенсивнее происходит развитие данного дефекта.

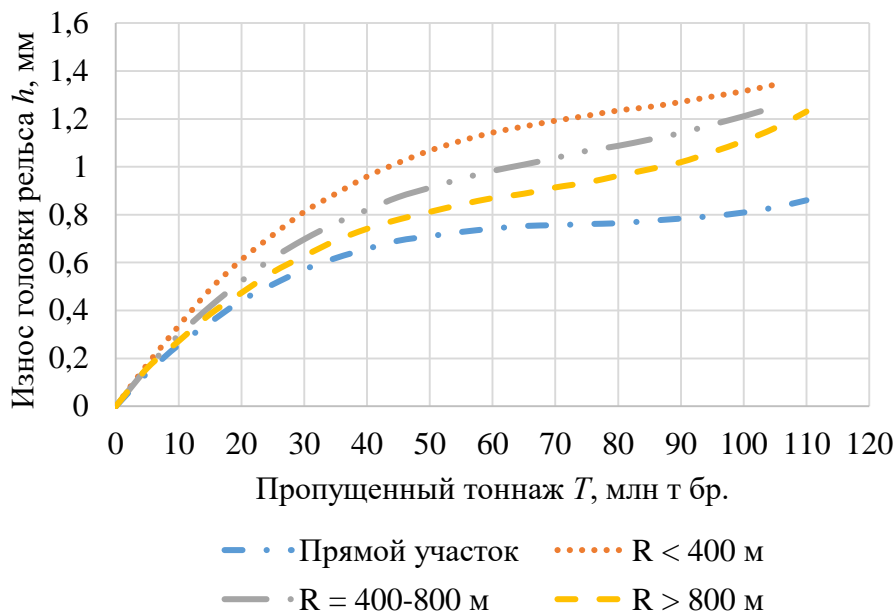


Рисунок 3.3 – Статистическая зависимость развития вертикального износа головки рельса от пропущенного тоннажа

Полученные значения сведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.3

Пропущенный тоннаж, млн т бр.	Износ головки рельса h , мм			
	Прямой Участок ЖДП	В кривых различного радиуса		
		$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
0	0	0	0	0
10	0,26	0,34	0,30	0,27
20	0,44	0,61	0,52	0,47
30	0,57	0,81	0,70	0,63
40	0,66	0,96	0,82	0,74
50	0,71	1,07	0,91	0,81
60	0,74	1,14	0,98	0,87
70	0,76	1,19	1,04	0,91
80	0,76	1,23	1,09	0,96
90	0,78	1,27	1,14	1,01
100	0,81	1,32	1,21	1,11

На рис 3.4 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 50$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.4.

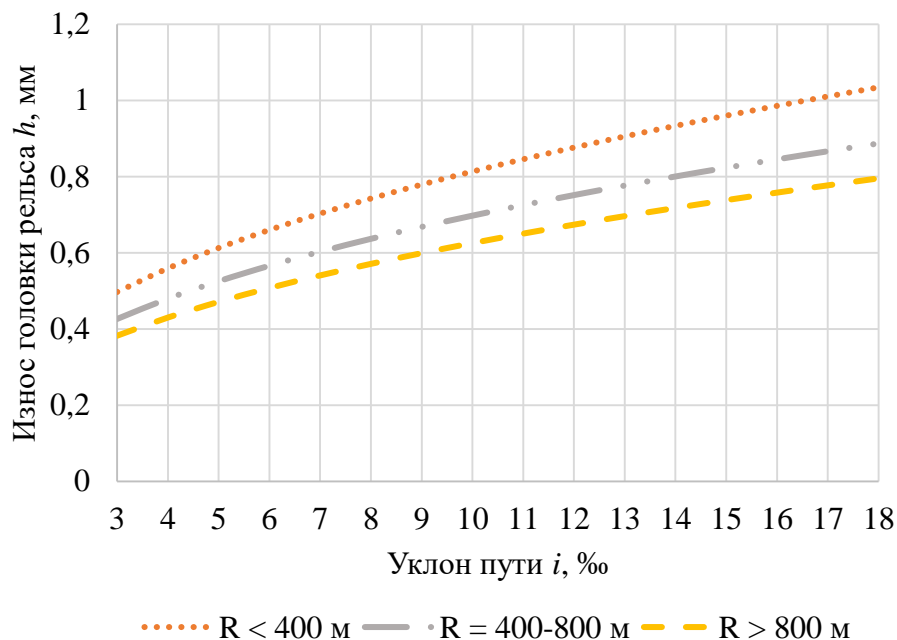


Рисунок 3.4 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 50$ млн т бр.

Таблица 3.4 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.4

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	0,50	0,43	0,38
4	0,56	0,48	0,43
5	0,61	0,53	0,47
6	0,66	0,57	0,51
7	0,70	0,60	0,54
8	0,74	0,64	0,57
9	0,78	0,67	0,60
10	0,81	0,70	0,63
11	0,85	0,73	0,65
12	0,88	0,75	0,67
13	0,91	0,78	0,70
14	0,93	0,80	0,72
15	0,96	0,82	0,74
16	0,99	0,85	0,76
17	1,01	0,87	0,78
18	1,03	0,89	0,80

На рис 3.5 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 100$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.5.

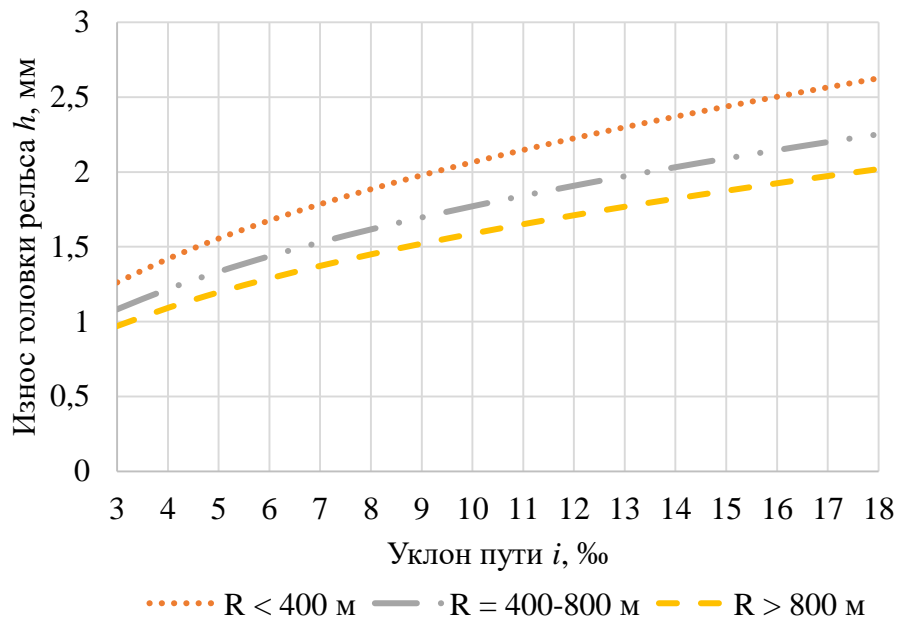


Рисунок 3.5 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 100$ млн т бр.

Таблица 3.5 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.5

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	1,26	1,08	0,97
4	1,42	1,22	1,09
5	1,56	1,33	1,20
6	1,68	1,44	1,29
7	1,78	1,53	1,37
8	1,88	1,62	1,45
9	1,98	1,70	1,52
10	2,07	1,77	1,59
11	2,15	1,84	1,65
12	2,22	1,91	1,71
13	2,30	1,97	1,77
14	2,37	2,03	1,82
15	2,44	2,09	1,87
16	2,50	2,15	1,92
17	2,57	2,20	1,97
18	2,63	2,25	2,02

На рис 3.6 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 150$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.6.

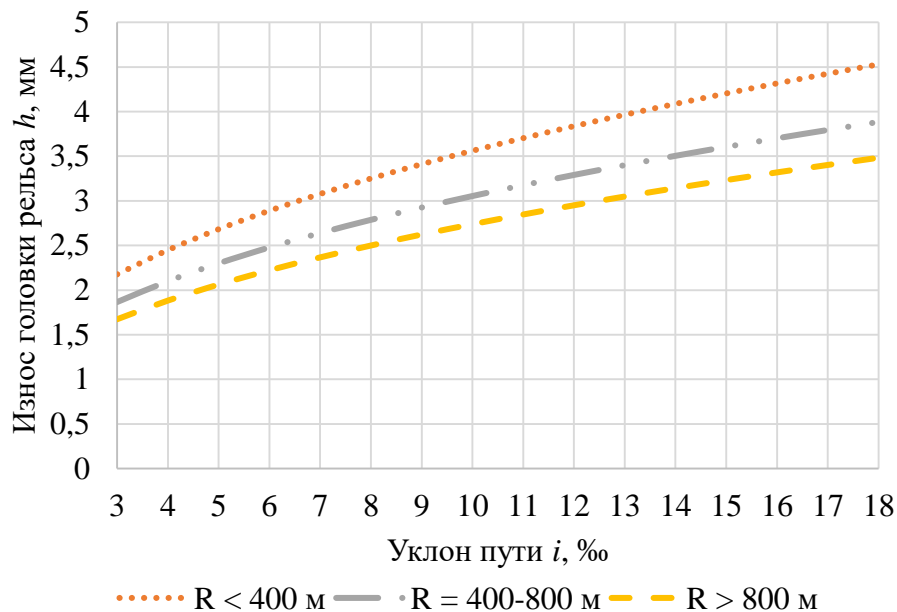


Рисунок 3.6 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 150$ млн т бр.

Таблица 3.6 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.6

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	2,18	1,87	1,67
4	2,45	2,10	1,88
5	2,68	2,30	2,06
6	2,89	2,48	2,22
7	3,08	2,64	2,37
8	3,25	2,79	2,50
9	3,41	2,93	2,62
10	3,56	3,05	2,74
11	3,70	3,18	2,85
12	3,84	3,29	2,95
13	3,96	3,40	3,05
14	4,09	3,50	3,14
15	4,20	3,60	3,23
16	4,32	3,70	3,32
17	4,42	3,79	3,40
18	4,53	3,88	3,48

На рис 3.7 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 200$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.7.

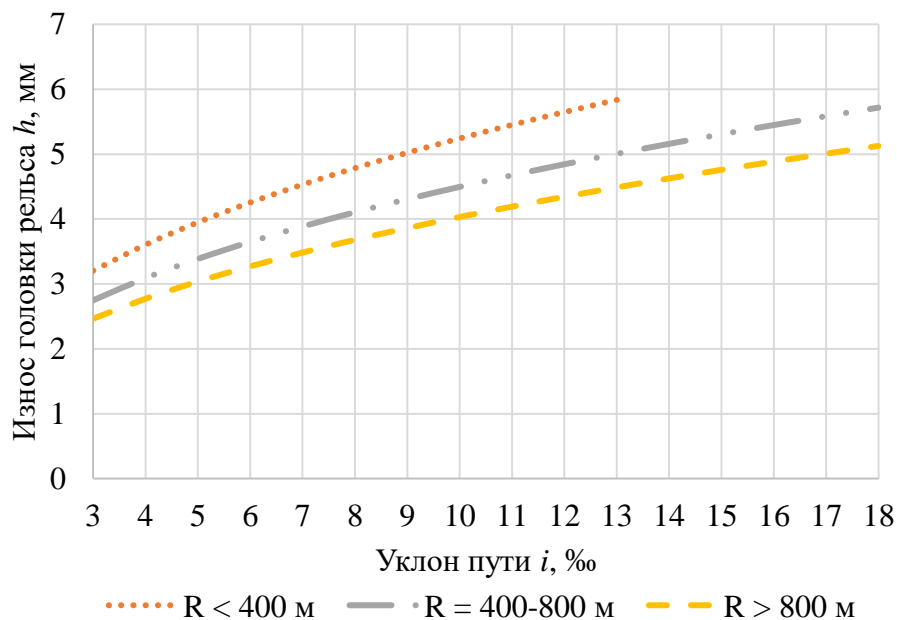


Рисунок 3.7 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 200$ млн т бр.

Таблица 3.7 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.7

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	3,20	2,75	2,46
4	3,60	3,09	2,77
5	3,95	3,39	3,04
6	4,25	3,65	3,27
7	4,53	3,89	3,48
8	4,79	4,10	3,68
9	5,02	4,31	3,86
10	5,24	4,50	4,03
11	5,45	4,67	4,19
12	5,65	4,84	4,34
13	5,84	5,00	4,49
14	–	5,16	4,63
15	–	5,31	4,76
16	–	5,45	4,89
17	–	5,59	5,01
18	–	5,72	5,13

На рис 3.8 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 50$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.8.

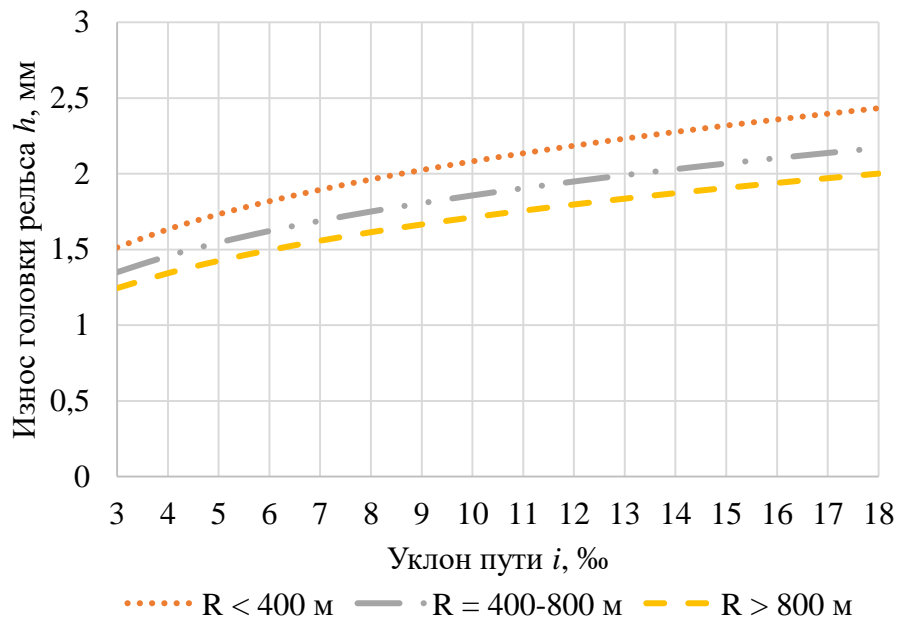


Рисунок 3.8 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 50$ млн т бр.

Таблица 3.8 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.8

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	1,51	1,35	1,24
4	1,63	1,46	1,34
5	1,73	1,55	1,43
6	1,82	1,62	1,50
7	1,89	1,69	1,56
8	1,96	1,75	1,61
9	2,02	1,81	1,67
10	2,08	1,86	1,71
11	2,14	1,90	1,76
12	2,19	1,95	1,80
13	2,23	1,99	1,84
14	2,28	2,03	1,87
15	2,32	2,07	1,91
16	2,36	2,10	1,94
17	2,40	2,14	1,97
18	2,43	2,17	2,00

На рис 3.9 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 100$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.9.

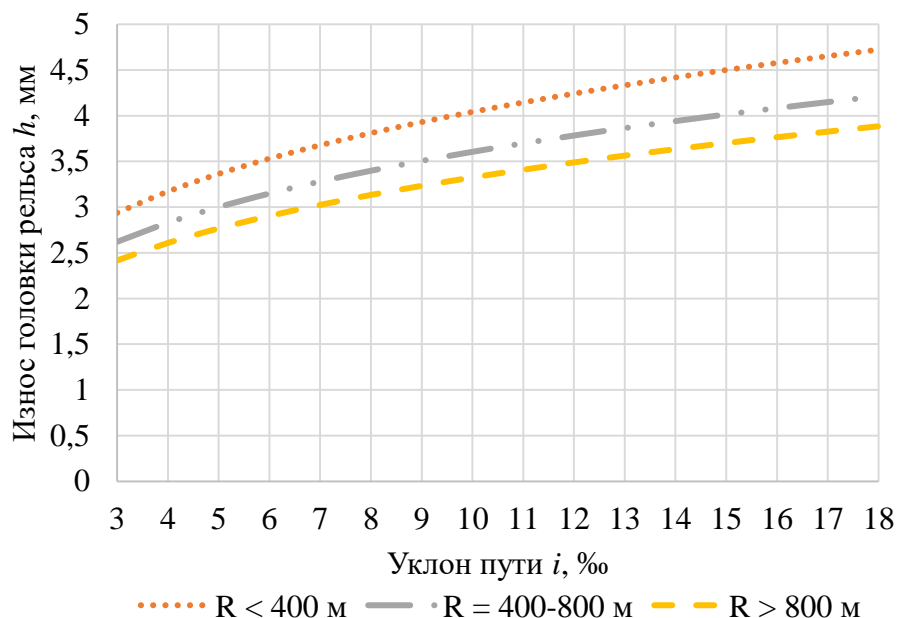


Рисунок 3.9 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 100$ млн т бр.

Таблица 3.9 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.9

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	2,94	2,62	2,42
4	3,17	2,83	2,61
5	3,36	3,00	2,77
6	3,53	3,15	2,90
7	3,68	3,28	3,02
8	3,81	3,40	3,13
9	3,93	3,51	3,23
10	4,04	3,61	3,32
11	4,15	3,70	3,41
12	4,24	3,78	3,49
13	4,33	3,86	3,56
14	4,42	3,94	3,63
15	4,50	4,01	3,70
16	4,58	4,08	3,77
17	4,65	4,15	3,83
18	4,72	4,21	3,88

На рис 3.10 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 150$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.10.

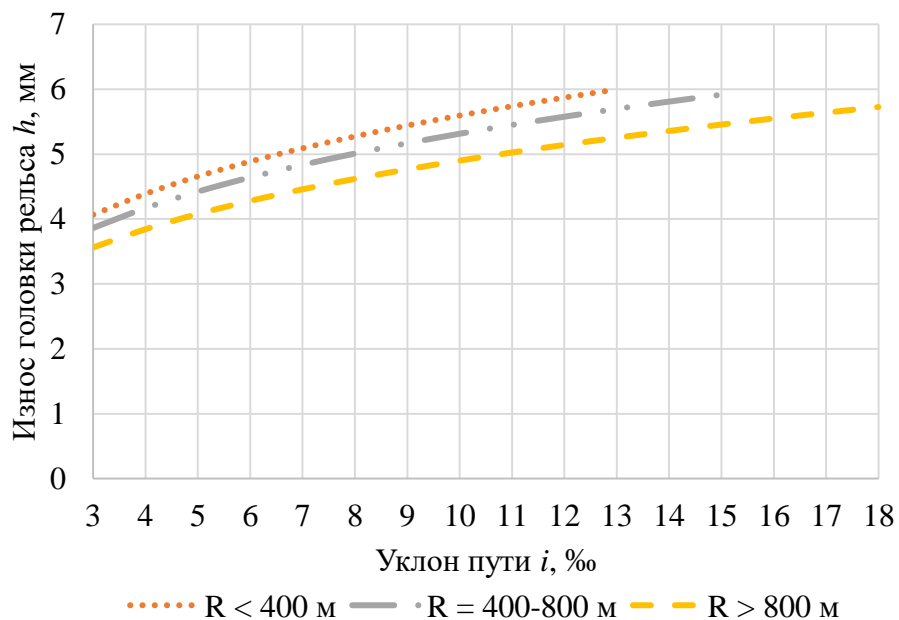


Рисунок 3.10 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 150$ млн т бр.

Таблица 3.10 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.10

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	4,07	3,86	3,56
4	4,39	4,17	3,84
5	4,66	4,42	4,08
6	4,89	4,64	4,28
7	5,09	4,84	4,46
8	5,27	5,01	4,62
9	5,44	5,17	4,77
10	5,59	5,31	4,90
11	5,74	5,45	5,03
12	5,87	5,58	5,14
13	–	5,70	5,25
14	–	5,81	5,36
15	–	5,92	5,46
16	–	–	5,55
17	–	–	5,64
18	–	–	5,73

На рис 3.11 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 200$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.11.

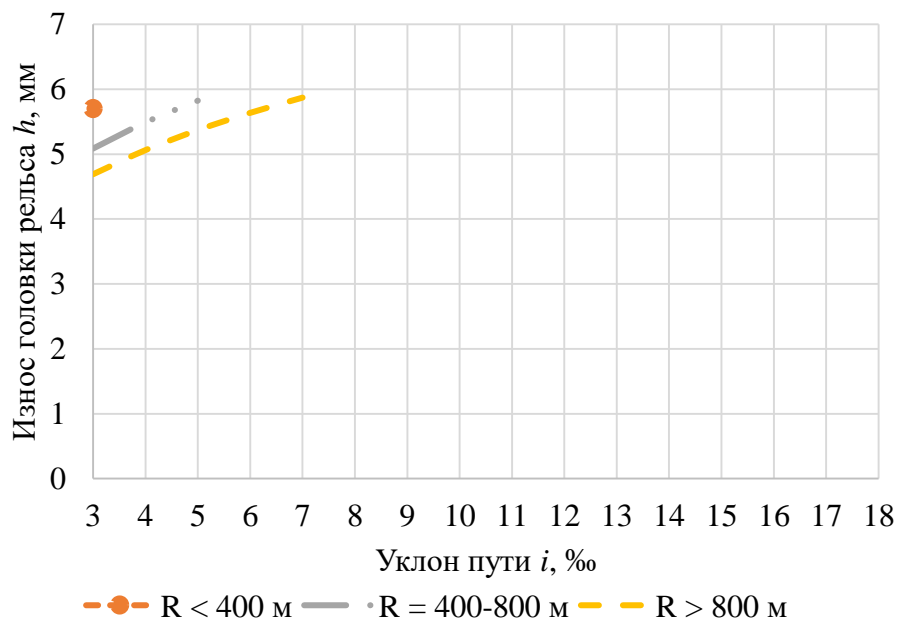


Рисунок 3.11 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 200$ млн т бр.

Таблица 3.11 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.11

Уклон ЖДП i , %	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	5,70	5,09	4,69
4	—	5,49	5,06
5	—	5,82	5,37
6	—	—	5,64
7	—	—	5,87
8	—	—	—
9	—	—	—
10	—	—	—
11	—	—	—
12	—	—	—
13	—	—	—
14	—	—	—
15	—	—	—
16	—	—	—
17	—	—	—
18	—	—	—

Боковой износ

Причины появления бокового износа заключаются в возникновении усиленного проскальзывания, вследствие увеличения углов набегания гребней колес на боковую грань рельсов по причине нарушения нормального вписывания тележек ПС в кривые участки ЖДП, а также из-за низкой износостойкости рельсового металла. Кроме того, боковой износ может образовываться по причине недостаточной лубрикации боковой грани головки рельсов. На рис. 3.12 показана статистическая кривая зависимости развития бокового износа головки рельса от пропущенного тоннажа. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.12.

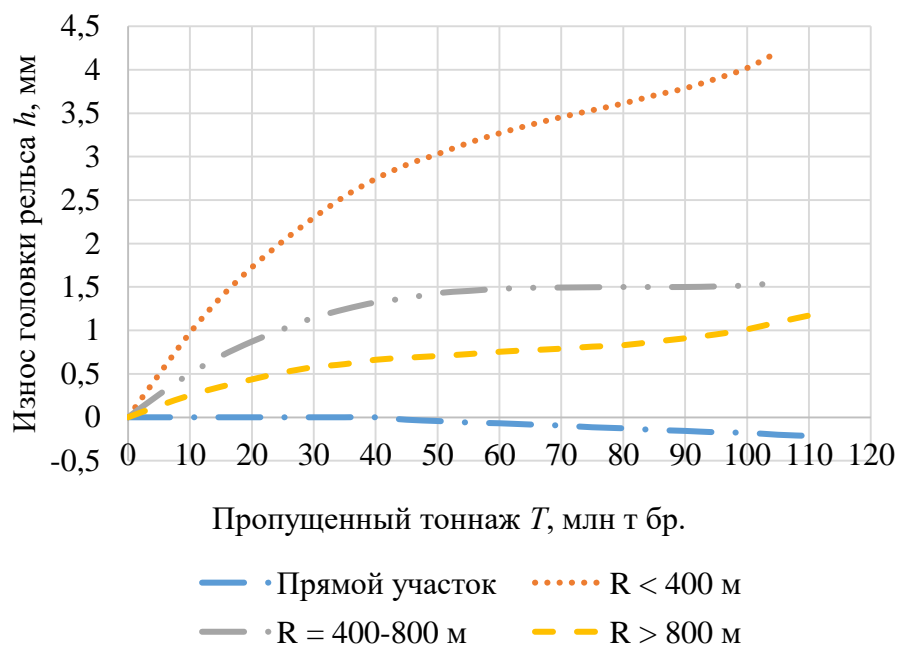


Рисунок 3.12 – Статистическая зависимость изменения бокового износа головки рельса от пропущенного тоннажа (без уклона ЖДП)

Из рис. 3.12 видно, что на прямых участках ЖДП образуются наплывы, которым характерно нарастание с увеличением пропущенного тоннажа. Кроме того, чем меньше радиус кривой, тем интенсивнее происходит развитие данного дефекта [10].

Таблица 3.12 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.12

Пропущенный тоннаж T , млн т бр.	Износ головки рельса h , мм			
	Прямой участок ЖДП	В кривых различного радиуса		
		$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
10	0	0,97	0,50	0,52
20	0	1,72	0,87	0,44
30	0	2,30	1,14	0,58
40	0	2,74	1,32	0,66
50	-0,04	3,03	1,43	0,70
60	-0,07	3,27	1,48	0,75
70	-0,09	0,45	1,49	0,79
80	-0,13	3,61	1,50	0,83
90	-0,16	3,79	1,50	0,91
100	-0,18	4,02	1,52	1,01

На рис. 3.13 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 50$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.13.

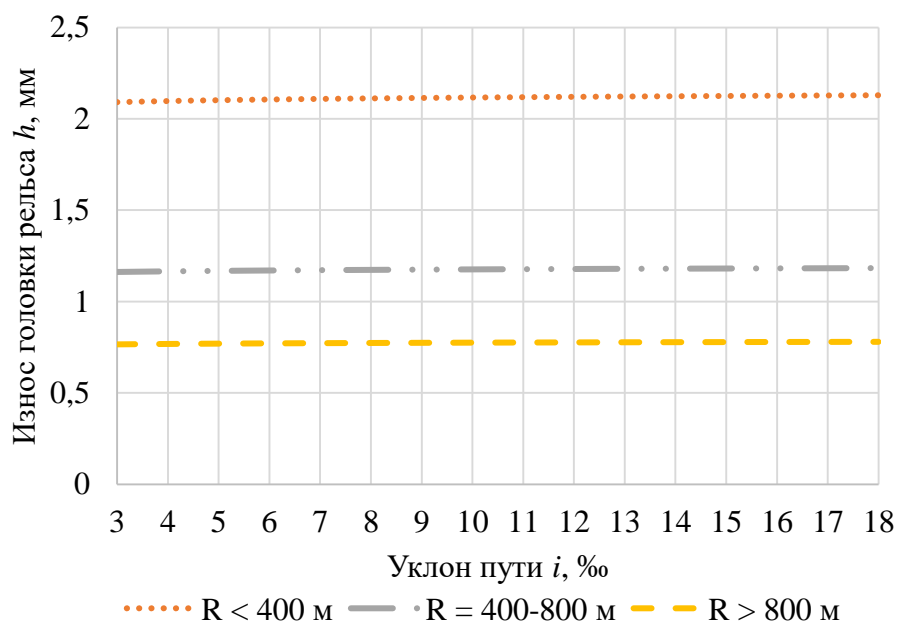


Рисунок 3.13 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 50$ млн т бр.

Таблица 3.13 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.13

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	2,09	1,16	0,77
4	2,10	1,17	0,77
5	2,10	1,17	0,77
6	2,11	1,17	0,77
7	2,11	1,17	0,77
8	2,11	1,17	0,77
9	2,11	1,17	0,77
10	2,12	1,18	0,78
11	2,12	1,18	0,78
12	2,12	1,18	0,78
13	2,12	1,18	0,78
14	2,12	1,18	0,78
15	2,13	1,18	0,78
16	2,13	1,18	0,78
17	2,13	1,18	0,78
18	2,13	1,18	0,78

На рис. 3.14 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 100$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.14.

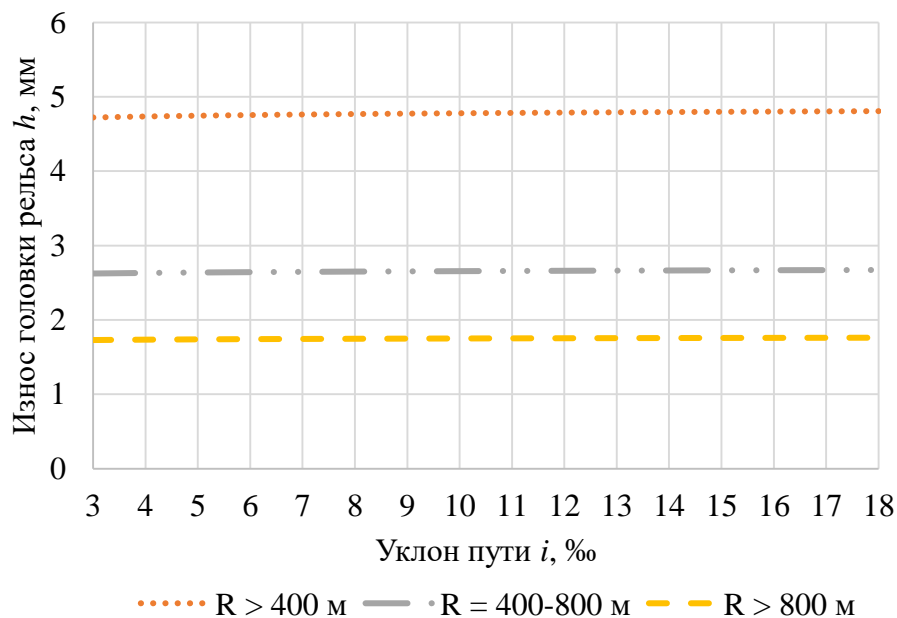


Рисунок 3.14 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 100$ млн т бр.

Таблица 3.14 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.14

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	4,72	2,62	1,73
4	4,74	2,63	1,73
5	4,75	2,64	1,74
6	4,75	2,64	1,74
7	4,76	2,65	1,74
8	4,77	2,65	1,75
9	4,77	2,65	1,75
10	4,78	2,66	1,75
11	4,78	2,66	1,75
12	4,79	2,66	1,75
13	4,79	2,66	1,75
14	4,79	2,66	1,76
15	4,80	2,67	1,76
16	4,80	2,67	1,76
17	4,80	2,67	1,76
18	4,81	2,67	1,76

На рис. 3.15 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 150$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.15.

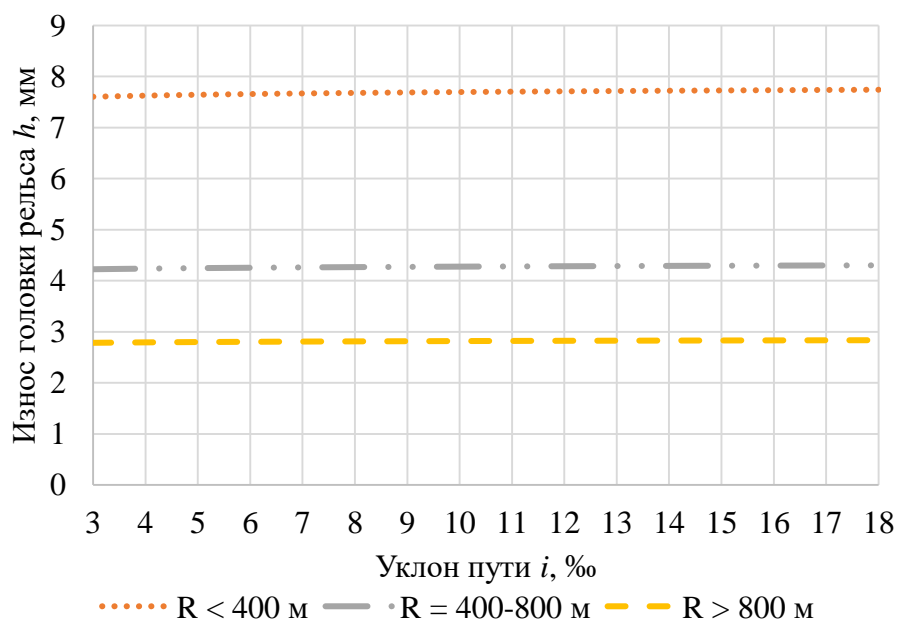


Рисунок 3.15 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 150$ млн т бр.

Таблица 3.15 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.15

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	7,60	4,23	2,78
4	7,62	4,24	2,79
5	7,64	4,25	2,80
6	7,66	4,25	2,80
7	7,67	4,26	2,81
8	7,68	4,27	2,81
9	7,69	4,27	2,82
10	7,70	4,28	2,82
11	7,70	4,28	2,82
12	7,71	4,28	2,82
13	7,72	4,29	2,83
14	7,72	4,29	2,83
15	7,73	4,29	2,83
16	7,73	4,30	2,83
17	7,74	4,30	2,83
18	7,74	4,30	2,84

На рис. 3.16 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 200$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.16.

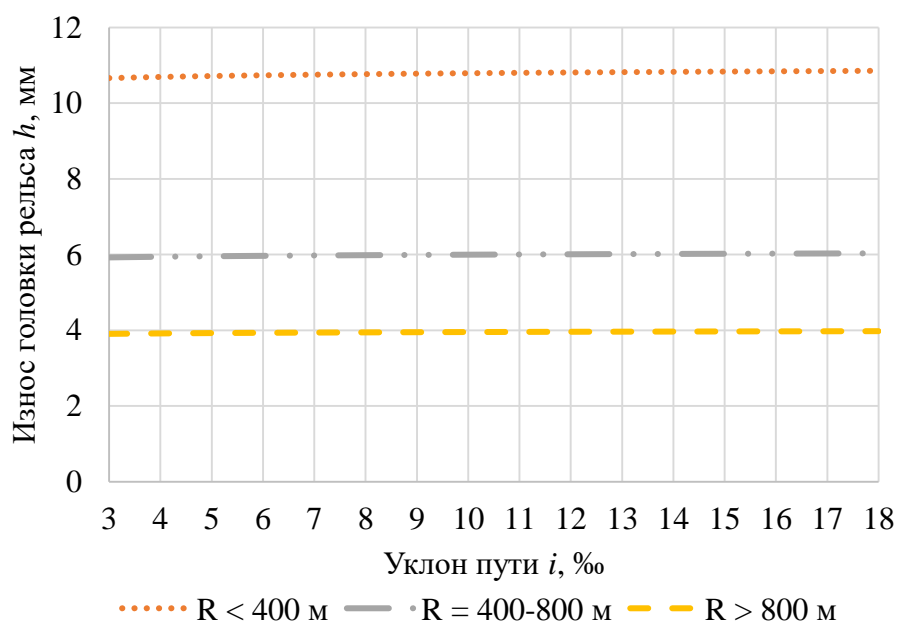


Рисунок 3.16 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на подъеме при $T = 200$ млн т бр.

Таблица 3.16 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.16

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	10,66	5,92	3,90
4	10,69	5,94	3,92
5	10,72	5,95	3,92
6	10,73	5,97	3,93
7	10,75	5,97	3,94
8	10,77	5,98	3,94
9	10,78	5,99	3,95
10	10,79	6,00	3,95
11	10,80	6,00	3,96
12	10,81	6,01	3,96
13	10,82	6,01	3,96
14	10,83	6,02	3,97
15	10,83	6,02	3,97
16	10,84	6,02	3,97
17	10,85	6,03	3,97
18	10,85	6,03	3,98

На рис. 3.17 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 50$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.17.

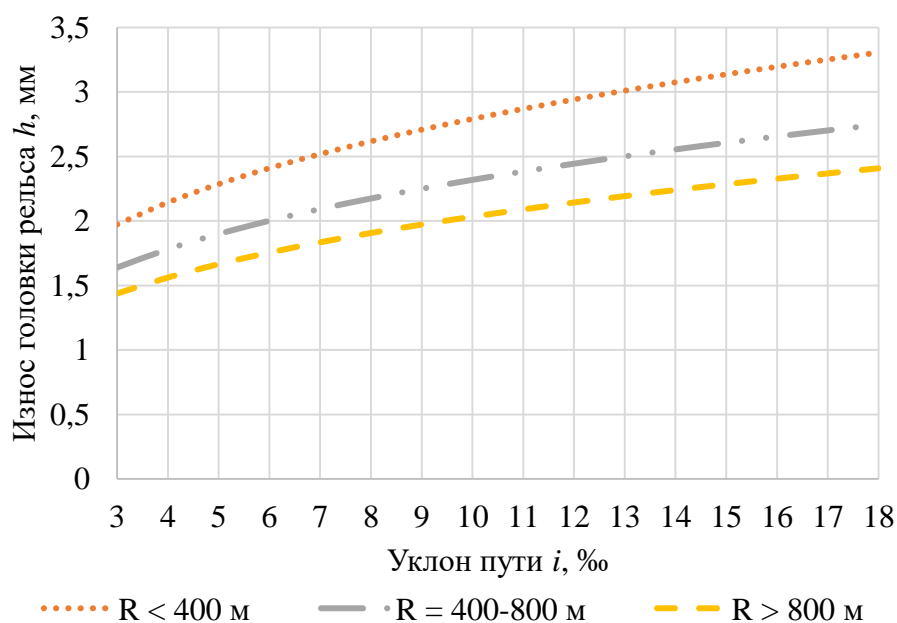


Рисунок 3.17 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 50$ млн т бр.

Таблица 3.17 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.17

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	1,97	1,64	1,44
4	2,14	1,78	1,56
5	2,29	1,90	1,67
6	2,41	2,00	1,75
7	2,52	2,09	1,83
8	2,62	2,17	1,91
9	2,71	2,25	1,97
10	2,79	2,32	2,03
11	2,87	2,38	2,09
12	2,94	2,44	2,14
13	3,01	2,50	2,19
14	3,07	2,55	2,24
15	3,14	2,61	2,28
16	3,20	2,65	2,33
17	3,25	2,70	2,37
18	3,31	2,75	2,41

На рис. 3.18 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 100$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.18.

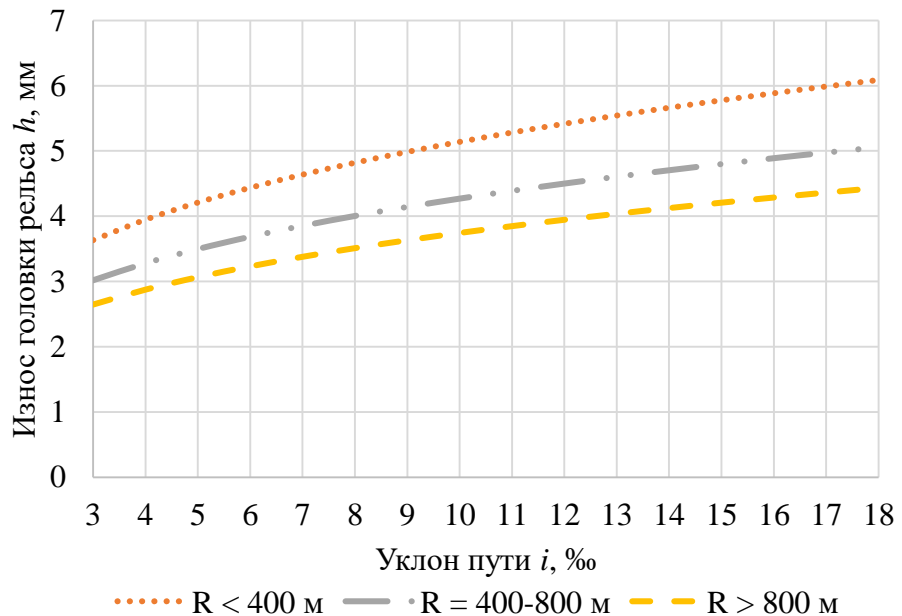


Рисунок 3.18 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 100$ млн т бр.

Таблица 3.18 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.18

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	3,63	3,02	2,65
4	3,95	3,28	2,88
5	4,21	3,50	3,07
6	4,44	3,69	3,23
7	4,64	3,85	3,38
8	4,82	4,00	3,51
9	4,99	4,14	3,63
10	5,14	4,27	3,74
11	5,28	4,39	3,85
12	5,42	4,50	3,95
13	5,54	4,61	4,04
14	5,66	4,70	4,12
15	5,78	4,80	4,21
16	5,88	4,89	4,29
17	5,99	4,97	4,36
18	6,09	5,06	4,43

На рис. 3.19 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 150$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.19.

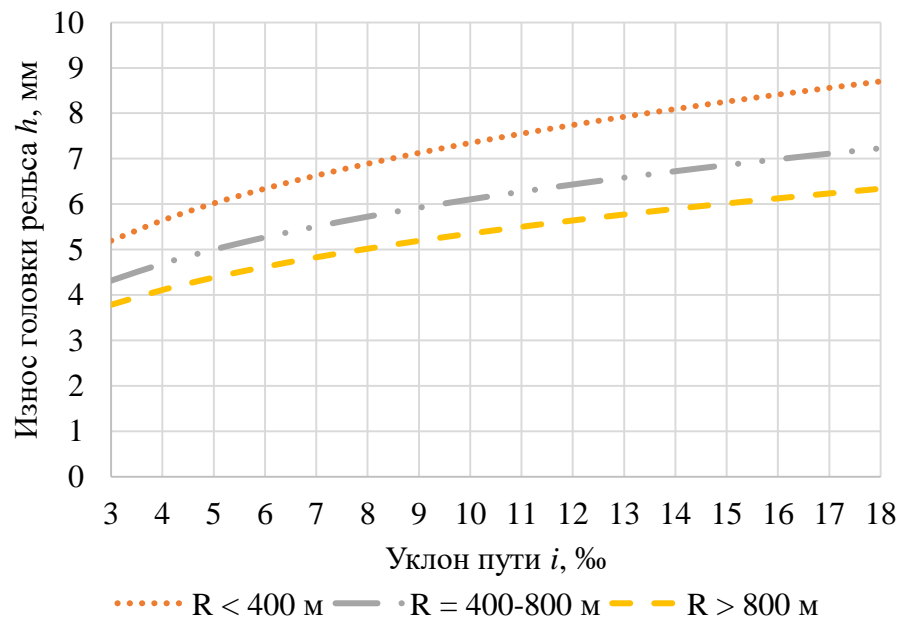


Рисунок 3.19 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 150$ млн т бр.

Таблица 3.19 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.19

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	5,19	4,31	3,78
4	5,64	4,69	4,11
5	6,02	5,00	4,38
6	6,34	5,27	4,62
7	6,63	5,51	4,83
8	6,89	5,72	5,02
9	7,13	5,92	5,19
10	7,35	6,10	5,35
11	7,55	6,27	5,50
12	7,74	6,43	5,64
13	7,92	6,58	5,77
14	8,09	6,72	5,90
15	8,26	6,86	6,01
16	8,41	6,99	6,13
17	8,56	7,11	6,23
18	8,70	7,23	6,34

На рис. 3.20 показана статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 200$ млн т бр. Значения функций $h = f(T)$ представлены в табл. 3.20.

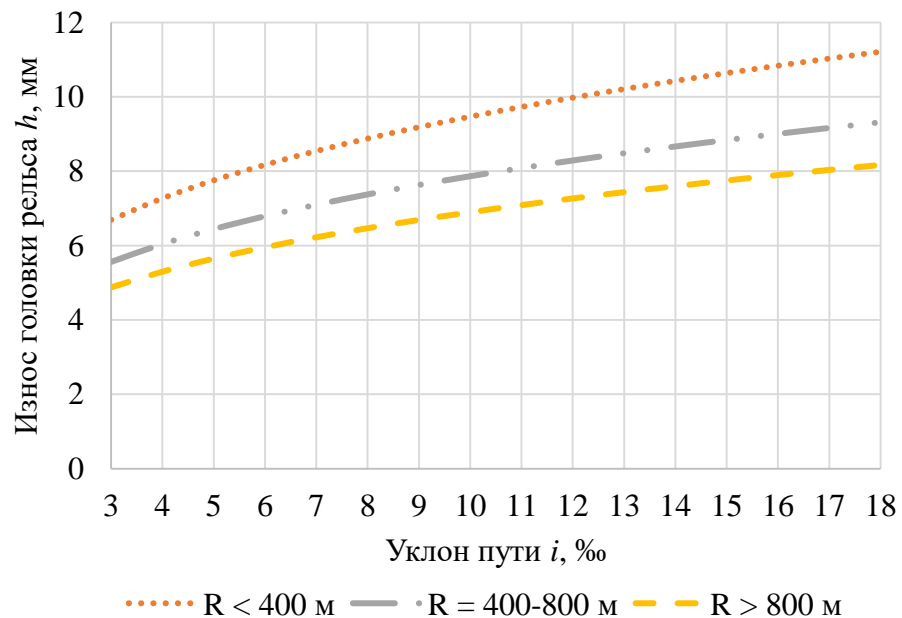


Рисунок 3.20 – Статистическая зависимость величины износа h от продольного уклона ЖДП i на спуске при $T = 200$ млн т бр.

Таблица 3.20 – Значения функций $h = f(T)$ для рис. 3.20

Уклон ЖДП i , ‰	Износ головки рельса h в кривых различного радиуса, мм		
	$R < 400$ м	$R = 400-800$ м	$R > 800$ м
3	6,69	5,56	4,87
4	7,27	6,04	5,30
5	7,75	6,44	5,65
6	8,17	6,79	5,95
7	8,54	7,10	6,22
8	8,88	7,37	6,47
9	9,18	7,63	6,69
10	9,46	7,86	6,89
11	9,73	8,08	7,09
12	9,97	8,29	7,27
13	10,21	8,48	7,44
14	10,43	8,66	7,60
15	10,64	8,84	7,75
16	10,84	9,00	7,89
17	11,03	9,16	8,03
18	11,21	9,31	8,17

Сводные данные математических зависимостей для рассмотренных дефектов представлены в табл. 3.21.

Таблица 3.21 – Сводная таблица математических зависимостей

Тип дефекта	Участок ЖДП	Математическая зависимость $h = f(T)$	Коэффициент достоверности аппроксимации
трещины и выкрашивания	кривая (усредненная)	$h = 0,0183T^2 - 0,044T + 0,5599$	$R^2 = 0,998$
волнообразный износ	кривая (усредненная)	$h = 7 \cdot 10^{-6}T^2 + 4 \cdot 10^{-4}T + 0,5224$	$R^2 = 0,999$
вертикальный износ	прямой участок без уклона ЖДП	$h = 1 \cdot 10^{-4}T^2 + 0,0169T + 0,0968$	$R^2 = 0,960$
	кривая $R < 400$ м без уклона ЖДП	$h = 2 \cdot 10^{-4}T^2 + 0,0271T + 0,0838$	$R^2 = 0,988$
	кривая $R = 400-600$ м без уклона ЖДП	$h = -1 \cdot 10^{-4}T^2 + 0,022T + 0,0866$	$R^2 = 0,986$
	кривая $R > 800$ м без уклона ЖДП	$h = -7 \cdot 10^{-5}T^2 + 0,0173T + 0,1131$	$R^2 = 0,972$
	подъем в кривой (усредненной)	$h = 0,016T^{1,344}R^{-0,379}i^{0,409}$	$R^2 = 0,922$
	спуск в кривой (усредненной)	$h = 0,145T^{0,957}R^{-0,282}i^{0,265}$	$R^2 = 0,938$

Продолжение таблицы 3.21

боковой износ	прямой участок без уклона ЖДП	$h = -2 \cdot 10^{-5}T^2 - 8 \cdot 10^{-5}T + 0,0083$	$R^2 = 0,983$
	кривая $R < 400$ м без уклона ЖДП	$h = -4 \cdot 10^{-4}T^2 + 0,0733T + 0,2725$	$R^2 = 0,985$
	кривая $R = 400- 600$ м без уклона ЖДП	$h = -2 \cdot 10^{-4}T^2 + 0,0374T + 0,1495$	$R^2 = 0,971$
	кривая $R > 800$ м без уклона ЖДП	$h = -5 \cdot 10^{-5}T^2 + 0,0137T + 0,1262$	$R^2 = 0,952$
	подъем в кривой (усредненной)	$h = 122,94T^{1,175}R^{-1,449}i^{0,01}$	$R^2 = 0,935$
	спуск в кривой (усредненной)	$h = 0,708T^{0,881}R^{-0,457}i^{0,288}$	$R^2 = 0,769$

Коэффициент достоверности аппроксимации показывает степень соответствия трендовой модели исходным данным, в которое развитие моделируемого износа отражается через тренд основных показателей (средние величины).

Значения износа головки рельса в зависимости от типа ЖДП и пропущенного тоннажа представлены в табл. 3.22 для рассмотренных типов дефектов.

Таблица 3.22 – Износ головки при движении участку ЖДП без уклона

Тип дефекта	Износ головки рельса h , мм			
	На прямом участке ЖДП	В кривых различного радиуса		
		$R < 400$ м	$R = 400-600$ м	$R > 800$ м
а) при $T = 50$ млн т бр.				
трещины и выкрашивания	–	0,01		
волнообразный износ	–	0,56		
вертикальный износ	0,71	1,07	0,91	0,81
боковой износ	-0,04	3,03	1,43	0,71
б) при $T = 100$ млн т бр.				
трещины и выкрашивания	–	0,02		
волнообразный износ	–	0,63		
вертикальный износ	0,81	1,32	1,21	1,11
боковой износ	-0,18	4,02	1,52	1,01
в) при $T = 150$ млн т бр.				
трещины и выкрашивания	–	0,08		

Продолжение таблицы 3.22

волнообразный износ	–	0,74		
вертикальный износ	0,95	1,54	1,26	1,15
боковой износ	-0,21	6,74	3,55	0,75
г) при $T = 200$ млн т бр.				
трещины и выкрашивания	–	0,19		
волнообразный износ	–	0,88		
вертикальный износ	0,99	2,07	1,69	1,17
боковой износ	-0,25	8,04	4,2	1,01

Для наглядности сравнения значений вертикального и бокового износов головки рельса при движении в кривых различного радиуса на подъеме и спуске, полученные значения были сведены в табл. 3.23.

Таблица 3.23 – Износ головки при движении в кривых различного радиуса на подъеме

Тип дефекта	Износ головки рельса h , мм			
	На прямом участке ЖДП	В кривых различного радиуса		
		$R < 400$ м	$R = 400-600$ м	$R > 800$ м
а) при $T = 50$ млн т бр.; $i = 3 / 18$ ‰				
трещины и выкрашивания	–	–	–	–
волнообразный износ	–	0,56 / 0,56		
вертикальный износ	–	0,5 / 1,03	0,43 / 0,89	0,38 / 0,80
боковой износ	–	2,09 / 2,13	1,16 / 1,18	0,77 / 0,78
б) при $T = 100$ млн т бр.; $i = 3 / 18$ ‰				
трещины и выкрашивания	–	–	–	–
волнообразный износ	–	0,63 / 0,63		
вертикальный износ	–	1,26 / 2,63	1,08 / 2,25	0,97 / 2,02
боковой износ	–	4,72 / 4,81	2,62 / 2,67	1,73 / 1,76
в) при $T = 150$ млн т бр.; $i = 3 / 18$ ‰				
трещины и выкрашивания	–	–	–	–
волнообразный износ	–	0,74 / 0,74		

Продолжение таблицы 3.23

вертикальный износ	–	2,18 / 4,53	1,87 / 3,88	1,67 / 3,48
боковой износ	–	7,60 / 7,74	4,23 / 4,30	2,78 / 2,84
г) при $T = 200$ млн т бр.; $i = 3 / 18$ ‰				
трещины и выкрашивания	–	–	–	–
волнообразный износ	–	0,88 / 0,88		
вертикальный износ	–	3,2 / –	2,75 / 5,72	2,46 / 5,13
боковой износ	–	10,66 / 10,85	5,92 / 6,03	3,90 / 3,98

Из табл. 3.23 видно, что с увеличением пропуска тоннажа боковой износ развивается интенсивнее вертикального износа.

3.2 Определение переходных вероятностей дефектов рельсов

Жизненный цикл рельса возможно представить в виде отрезка, крайнее ограничение которого является максимальное значение i -го дефекта, соответствующее h_{\max}^{CB3} (см. табл. 2.5), поэтому формула классического определения вероятности в данном случае не применима, ввиду бесконечно большого значения числа всех равновозможных элементарных исходов. Искомые вероятности можно определить геометрическим способом.

Рассмотрим пример, соответствующий первой стратегии планирования работ, когда $k = 1$ (см. рис. 3.21).

Зная годовую грузонапряженность ЖДП, возможно спрогнозировать значение рассматриваемого дефекта рельса на момент проведения работ, используя функцию $h = f(T)$ (табл. 3.21).

Общее число исходов выражается длиной отрезка L_0^1 , мм:

$$L_0^1 = h_{\text{прог}} - h_{\text{факт}}, \quad (3.1)$$

где $h_{\text{прог}}$ – прогнозируемое значения дефекта рельса, мм; $h_{\text{факт}}$ – фактическое значения дефекта рельса, мм.

Длины вложенных отрезков l_{CBi}^1 , мм:

$$l_{CB1}^1 = h_{max}^{CB1} - h_{факт}; \quad (3.2)$$

$$l_{CB2}^1 = h_{max}^{CB2} - h_{min}^{CB2}; \quad (3.3)$$

$$l_{CB3}^1 = h_{прог} - h_{min}^{CB3}. \quad (3.4)$$

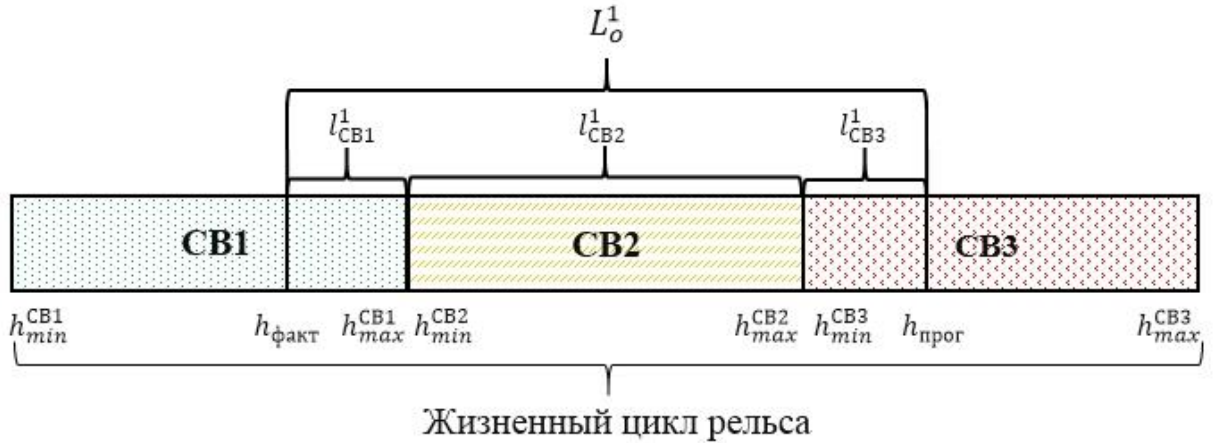


Рисунок 3.21 – Определение переходных вероятностей

Искомая вероятность p_{ij}^1 :

$$p_{ij}^1 = l_{CBi}^1 / L_o^1. \quad (3.5)$$

При определении вероятностей необходимо выполнять проверку условия неперехода рельса в категорию ОДР:

$$h_{прог} < h_{max}^{CB3} \quad (3.6)$$

Прогнозируемое значение величины дефекта $h_{прог}$ определяется из математической зависимости, представленной в табл. 3.21.

Для определения $h_{прог}$ необходимо рассчитать приведенное значение пропущенного тоннажа $T_{привед}$ для фактической глубины дефекта $h_{факт}$, используя табл. 3.21.

Прогнозируемое значение пропущенного тоннажа $T_{прог}^i$, млн т бр.:

$$T_{прог}^i = T_{привед}^i + (n_1 + n_2 + \dots + n_m) \cdot T_{ср.гр}^i, \quad (3.7)$$

где $n_1 + n_2 + \dots + n_m$ – количество дней в каждом месяце (расчет производится в зависимости от срока планирования), дн.; $T_{\text{ср.гр}}^i$ – ориентировочная среднесуточная грузонапряженность ЖДП, млн т бр./сутки.

$$T_{\text{ср.гр}}^i = \frac{T_{\Gamma}^i}{12 \cdot n_i}, \quad (3.8)$$

где T_{Γ}^i – годовая грузонапряженность, млн. т бр.

Полученные по формуле (3.5) вероятности изменения СВ дефектности рельсов включаются в основу составления матрицы вероятностей (2.3).

Выводы по разделу 3

1. На основе обобщения и систематизации данных о развитии дефектов в головке рельса, удаляемых шлифованием, установлены закономерности развития дефектов рельсов в зависимости от условий эксплуатации, конструкции ЖДП и пропущенного тоннажа.

2. Разработана методика определения вероятности перехода дефектности рельсов из одной СВ в другую на основе установленных закономерностей развития дефектов рельсов от условий эксплуатации ЖДП.

4 РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ РАСХОДОВ НА СОДЕРЖАНИЕ РЕЛЬСОВ

4.1 Расчет функций расходов на выполнение работ

Поскольку экономическая (денежная) оценка является одним из важнейших факторов при планировании шлифовальных операций, которая содействует совершенствованию методов эксплуатационной и экономической работ, то ее определение должно быть особенно точным. Представленный в рассматриваемой главе подход к расчету функций расходов основан на общепринятых в транспортно-экономической науке методах определения себестоимости железнодорожных перевозок, описание которых приведено в научных трудах специалистов АО «ВНИИЖТ», ФГАОУ ВО РУТ «МИИТ», ФГБОУ ВО «СГУПС» и др. [89-99].

Для определения функций расходов r_{ij}^k с целью выявления оценки экономической эффективности мероприятий ОАО «РЖД», в расчетных операциях применяются расходные ставки, рассчитываемые на основе зависящих от объемов работы расходов ОАО «РЖД» по перевозочным видам деятельности.

В формулах расчета функций расхода (см. табл. 4.1.) учитываются дополнительные затраты $Q_{огр}$ по причине ограничения скорости движения поезда из-за дефектности участка ЖДП; размер общего ущерба от несвоевременного шлифования рельсов Y_0 , который включает в себя дополнительные расходы по перевозочным видам деятельности, а также размер ущерба, связанного со штрафами за опоздание пассажирских поездов; затраты на шлифование или смену рельсов с учетом расходов при работе в «окно».

Планируемое количество проходов РШП $N_{п}$ для удаления дефекта:

$$N_{п} = (h_{факт} + 0,2)/t_{РШП}^{max}, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{РШП}}^{\text{max}}$, – максимальная толщина снимаемого слоя металла с головки рельса твердостью 480 НВ за один проход РШП, движущегося с рабочей скоростью $v_{\text{РШП}}^{\text{раб}} = 5$ км/ч.

Таблица 4.1 – Расчет функций расхода

№ п/п	r_{ij}^k	$h_{\text{прог}}^i$, мм	Формула расчета
1	r_{11}^1	$h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{min}}^{\text{CB1}}$	–
2	r_{12}^1	$h_{\text{min}}^{\text{CB2}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB2}}$	$(Q_{\text{орг}}^{\text{CB2}} + Y_o^{\text{CB2}})T_{\text{орг}}^{\text{CB2}}$
3	r_{13}^1	$h_{\text{min}}^{\text{CB3}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB3}}$	$\sum_{i=2,3} (Q_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Y_o^{\text{CB}i})T_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{см}} \cdot l_{\text{деф}}$
4	r_{21}^1	$h_{\text{min}}^{\text{CB2}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB2}}$	–
5	r_{22}^1	$h_{\text{min}}^{\text{CB2}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB2}}$	$(Q_{\text{орг}}^{\text{CB2}} + Y_o^{\text{CB2}})T_{\text{орг}}^{\text{CB2}}$
6	r_{23}^1	$h_{\text{min}}^{\text{CB3}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB3}}$	$\sum_{i=2,3} (Q_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Y_o^{\text{CB}i})T_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{см}} \cdot l_{\text{деф}}$
7	r_{31}^1	$h_{\text{min}}^{\text{CB3}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB3}}$	–
8	r_{32}^1	$h_{\text{min}}^{\text{CB3}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB3}}$	–
9	r_{33}^1	$h_{\text{min}}^{\text{CB3}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB3}}$	$\sum_{i=2,3} (Q_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Y_o^{\text{CB}i})T_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{см}} \cdot l_{\text{деф}}$
10	r_{11}^2	$h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{min}}^{\text{CB1}}$	$Q_{\text{пр}} + Q_{\text{шл}} \cdot l_{\text{шл}}$
11	r_{12}^2	$h_{\text{min}}^{\text{CB2}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB2}}$	$(Q_{\text{орг}}^{\text{CB2}} + Y_o^{\text{CB2}})T_{\text{орг}}^{\text{CB2}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{шл}} \cdot l_{\text{шл}}$
12	r_{13}^2	$h_{\text{min}}^{\text{CB3}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB3}}$	$\sum_{i=2,3} (Q_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Y_o^{\text{CB}i})T_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{шл}} \cdot l_{\text{шл}}$
13	r_{21}^2	$h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{min}}^{\text{CB1}}$	$(Q_{\text{орг}}^{\text{CB2}} + Y_o^{\text{CB2}})T_{\text{орг}}^{\text{CB2}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{шл}} \cdot l_{\text{шл}}$
14	r_{22}^2	$h_{\text{min}}^{\text{CB2}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB2}}$	$(Q_{\text{орг}}^{\text{CB2}} + Y_o^{\text{CB2}})T_{\text{орг}}^{\text{CB2}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{шл}} \cdot l_{\text{шл}}$
15	r_{23}^2	$h_{\text{min}}^{\text{CB3}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB3}}$	$\sum_{i=2,3} (Q_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Y_o^{\text{CB}i})T_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{шл}} \cdot l_{\text{шл}}$
16	r_{31}^2	$h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{min}}^{\text{CB1}}$	$(Q_{\text{орг}}^{\text{CB3}} + Y_o^{\text{CB3}})T_{\text{орг}}^{\text{CB3}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{шл}} \cdot l_{\text{шл}}$
17	r_{32}^2	$h_{\text{min}}^{\text{CB2}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB2}}$	$\sum_{i=2,3} (Q_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Y_o^{\text{CB}i})T_{\text{орг}}^{\text{CB}i} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{шл}} \cdot l_{\text{шл}}$
18	r_{33}^2	$h_{\text{min}}^{\text{CB3}} \leq h_{\text{прог}}^i \leq h_{\text{max}}^{\text{CB3}}$	$(Q_{\text{орг}}^{\text{CB3}} + Y_o^{\text{CB3}})T_{\text{орг}}^{\text{CB3}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{шл}} \cdot l_{\text{шл}}$

При шлифовании рельсов необходимо производить снятие металла на 0,2 мм больше $h_{\text{факт}}$ с целью ликвидации «скрытых» дефектов.

Общая протяженность участка шлифования $l_{\text{шл}}$, км:

$$l_{\text{шл}} = l_{\text{деф}} \cdot N_{\text{п}}, \quad (4.2)$$

где $l_{\text{деф}}$ – протяженность дефектного участка ЖДП, км.

Время, затрачиваемое на шлифовку рельсов, $t_{\text{раб}}$, ч:

$$t_{\text{раб}} = l_{\text{шл}} / \vartheta_{\text{РШП}}^{\text{раб}}. \quad (4.3)$$

4.2 Расчет стоимости эксплуатации рельсошлифовального поезда

Норма месячной амортизации РШП H_a , %:

$$H_a = \frac{1}{t_{\text{пол}}} 100. \quad (4.4)$$

где $t_{\text{пол}}$ – срок полезного использования РШП, дн.

Месячная амортизация РШП $H_a^{\text{мес}}$, руб.:

$$H_a^{\text{мес}} = \frac{P_6^{\text{РШП}}}{H_a} 100, \quad (4.5)$$

где $P_6^{\text{РШП}}$ – балансовая стоимость РШП, руб.

Часовая амортизация РШП $H_a^{\text{ч}}$, руб.:

$$H_a^{\text{ч}} = H_a^{\text{мес}} / t_{\text{раб}}. \quad (4.6)$$

Месячные затраты на ТО и Р РШП $P_{\text{ТОиР}}^{\text{мес}}$, руб.:

$$P_{\text{ТОиР}}^{\text{мес}} = P_6^{\text{РШП}} \cdot k_{\text{норм}}. \quad (4.7)$$

где $k_{\text{норм}}$ – месячная норма затрат на ТО и Р РШП, %.

Прогнозная доля времени $N_{\text{раб}}^{\text{д}}$, затрачиваемая на шлифование рельсов, от среднемесячной нормы, %:

$$N_{\text{раб}}^{\text{д}} = \frac{100 t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}}^{\text{мес}}}. \quad (4.8)$$

где $t_{\text{раб}}^{\text{мес}}$ – среднемесячная норма работы РШП, ч.

Прогнозные затраты на ТО и Р РШП $P_{\text{ТОиР}}^{\text{раб}}$ за время работы $t_{\text{раб}}$, руб.:

$$P_{\text{ТОиР}}^{\text{раб}} = \frac{N_{\text{раб}}^{\text{д}} P_{\text{ТОиР}}^{\text{мес}}}{100}. \quad (4.9)$$

Стоимость работы бригады РШП $C_{\text{бр}}^{\text{ст}}$, руб./ч:

$$C_{\text{бр}}^{\text{ст}} = (C_{\text{мас}}^{\text{ст}} + 3C_{\text{маш}}^{\text{ст}} + C_{\text{пом}}^{\text{ст}} + 2C_{\text{нал}}^{\text{ст}}) K_{\text{стр}}, \quad (4.10)$$

где $C_{\text{мас}}^{\text{ст}}$ – тарифная ставка мастера, руб./ч; $C_{\text{маш}}^{\text{ст}}$ – тарифная ставка машиниста, руб./ч; $C_{\text{пом}}^{\text{ст}}$ – тарифная ставка помощника машиниста, руб./ч; $C_{\text{нал}}^{\text{ст}}$ – тарифная ставка наладчика, руб./ч; $K_{\text{стр}}$ – коэффициент страховых взносов.

Часовая стоимость ДТ $P_{\text{ДТ}}^{\text{ч}}$, руб./ч:

$$P_{\text{ДТ}}^{\text{ч}} = P_{\text{ДТ}} \cdot Q_{\text{ДТ}}^{\text{ч}}, \quad (4.11)$$

где $P_{\text{ДТ}}$ – стоимость 1 т ДТ, руб.; $Q_{\text{ДТ}}^{\text{ч}}$ – норма расхода ДТ на 1 маш./ч, т.

Часовая стоимость СМ $P_{\text{СМ}}^{\text{ч}}$, руб./ч:

$$P_{\text{СМ}}^{\text{ч}} = P_{\text{СМ}} \cdot Q_{\text{СМ}}^{\text{ч}}, \quad (4.12)$$

где P – стоимость 1 т СМ, руб.; $Q_{\text{СМ}}^{\text{ч}}$ – норма расхода СМ на 1 маш./ч, т.

Прогнозная себестоимость работы 1 маш./ч РШП $P_0^{\text{РШП}}$, руб./ч:

$$P_0^{\text{РШП}} = H_a^{\text{ч}} + P_{\text{ТОиР}}^{\text{раб}} + C_{\text{бр}}^{\text{ст}} + P_{\text{ДТ}}^{\text{ч}} + P_{\text{СМ}}^{\text{ч}}. \quad (4.13)$$

В случае отсутствия каких-либо данных возможно использовать установленную норму стоимости эксплуатации 1 маш.-ч РШП в соответствии с Федеральными сметными расценками на эксплуатацию строительных машин и автотранспортных средств [100]. В случае тиражирования АСУР данный показатель необходимо рассчитывать индивидуально для каждого РШП, поскольку он будет зависеть от места базирования техники, технических характеристик и пр.

4.3 Расчет дополнительных затрат из-за простоя подвижного состава

Ожидаемый расход ОАО «РЖД» вследствие простоя 1 ч подвижного состава используется в качестве одного из критериев экономического эффекта от проведения шлифования рельсов. Экономическая (денежная) оценка простоев подвижного состава является важным показателем при расчете функций расходов, поскольку в усредненных значениях локомотив простаивает примерно 50 % времени, а вагон – более 70 % [99, с. 474].

Ожидаемый расход от простоя 1 ч локомотива определяется в соответствии с его типом и серией, которые влияют на расчет «локомотиво-километров»

и «локомотиво-часов». Кроме того, на ожидаемый расход оказывает влияние характер простоя [99, с. 475]:

А) при простое в депо без бригады учитываются расходы на реновацию, ремонт и энергетические затраты (частичные);

Б) при простое на станционных ЖДП или перегонах учитываются расходы на амортизацию, ремонт, локомотивную бригаду и электроэнергию (топливо);

В) при простое в нерабочем состоянии учитываются расходы на амортизационные отчисления.

Ожидаемые расходы от простоя грузовых и пассажирских поездов определяются на основе категории вагонов (пригородный, дальний и т. д.), типа и серии локомотива, а также продолжительности простоя (при длительных простоях двигателя локомотива выключаются, поэтому затраты на электроэнергию (топливо) не учитываются) [99, с. 476].

Дополнительные расходы $Q_{\text{пр}}$ по причине простоя поезда в «окно» на двухпутном участке ЖДП, руб. [89]:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{Q_t}{L_{\text{огр}} - l_{\text{сигн}}} C_{\text{пч}}, \quad (4.14)$$

где Q_t – временные потери в «окно», поездо-часы; $C_{\text{пч}}$ – стоимость 1 ч простоя поезда в движении, руб.; $L_{\text{огр}}$ – длина участка ЖДП с ограничением скорости движения с учетом длины поезда, м; $l_{\text{сигн}}$ – суммарная протяженность границ действия сигнальных знаков, м.

$$L_{\text{огр}} = l_{\text{деф}} + l_{\text{сигн}} + n_{\text{в}} l_{\text{в}} + l_{\text{лок}} + 10, \quad (4.15)$$

где $l_{\text{деф}}$ – протяженность дефектного участка ЖДП, м; $l_{\text{сигн}}$ – протяженность действия сигнальных знаков, м; $n_{\text{в}}$ – средний состав поезда в вагонах, шт.; $l_{\text{в}}$ – средняя длина вагона, м; $l_{\text{лок}}$ – длина локомотива, м; 10 – допуск на точность длины тормозного пути, м.

$$Q_t = \frac{t_0^2}{T_{\text{пер}}} (T_{\text{пер}} - J_{\text{ср}}) \left(1 + \frac{T_{\text{пер}} - J_{\text{ср}}}{J_{\text{ср}} - J_{\text{min}}} \right), \quad (4.16)$$

где t_0 – продолжительность «окна», необходимого для выполнения соответствующего вида работ на участке ЖДП, ч; $T_{\text{пер}}$ – период пары поездов на временном

однопутном участке ЖДП, ч; J_{cp} – средний (расчетный) интервал между поездами попутного следования, ч; J_{min} – минимальный интервал между поездами попутного следования при использовании автоблокировки, ч.

$$J_{cp} = \frac{24}{N_{max}}, \quad (4.17)$$

Сигнальные знаки, обязывающие машиниста снизить скорость при подходе к дефектному участку ЖДП, устанавливаются на расстоянии 500-1500 м при движении поездов со скоростью менее 120 км/ч или на расстоянии 800-1500 м, если скорость обращения поездов превышает 120 км/ч [101].

Значения укрупненных расходных ставок для грузового движения представлены в табл. 4.2 [102].

Таблица 4.2 – Укрупненные расходные ставки грузового движения (с учетом амортизации, арендных платежей и капитальных ремонтов локомотивов)

№ п/п	Измеритель	Ставка, руб.
1	Поездо-км при изменении маршрута следования грузового поезда с учетом амортизации, арендных платежей и капитальных ремонтов локомотивов (электрическая тяга / дизельная тяга)	349,87 / 672,00
2	Поездо-час простоя грузового поезда на станционных путях с учетом амортизации, арендных платежей и капитальных ремонтов локомотивов (электрическая тяга / дизельная тяга)	2 081,63 / 4 643,94
3	Час простоя поездного электровоза с учетом амортизации, арендных платежей и капитальных ремонтов локомотивов (с локомотивной бригадой / без локомотивной бригады)	2 073,06 / 447,13
4	Час простоя поездного тепловоза с учетом амортизации, арендных платежей и капитальных ремонтов локомотивов (с локомотивной бригадой / без локомотивной бригады)	4 635,39 / 1 392,32
5	Поездо-час в грузовом движении с учетом амортизации, арендных платежей и капитальных ремонтов локомотивов (для оценки изменения скорости движения) (электрическая тяга / дизельная тяга)	12 252,37 / 19 960,17

Полный перечень расходных ставок приведен в распоряжении ОАО «РЖД» от 31 декабря 2020 г. № 3025/р [102].

4.4 Расчет дополнительных затрат из-за ограничения скорости движения

Ограничение скоростей движения поездов вызывает изменение эксплуатационных расходов по ремонту ЖДП и ПС, содержанию локомотивных и поездных бригад, электроэнергии и топливу, амортизации ПС и ЖДП и др. Эти расходы зависят от конкретных эксплуатационных условий на участке ограничения скоростей движения поездов (протяженности участка, на котором ограничена скорость движения, уровня скоростей движения до начала действия ограничения и при его введении, соотношения перевозок по видам движения, массы поезда отдельно в грузовом и пассажирском движении, типа и серии локомотива, размеров движения, уровня расходных норм и т.д.) [103].

Дополнительное время по пропуску поездов при введении ограничения скорости движения складывается из дополнительного времени хода поезда Δt по участку ограничения из-за снижения скоростей движения и дополнительно возникающих торможений и разгонов [99, с. 479]:

$$\Delta t = \Delta t_x + \frac{\Delta t_{\text{р.з.}}}{60}, \quad (4.18)$$

где Δt_x – дополнительное время хода поезда по перегону из-за ограничения скорости движения, ч; $\Delta t_{\text{р.з.}}$ – время на разгон и замедление поезда, мин.

$$\Delta t_x = \left(\frac{1}{\vartheta'_x} - \frac{1}{\vartheta_x} \right) \frac{L_{\text{огр}}}{1000}, \quad (4.19)$$

м; $\vartheta_x, \vartheta'_x$ – ходовая скорость движения поездов до и после введения ограничения соответственно, км/ч.

Дополнительный расход электроэнергии (топлива) $Q_э$ на разгоны и замедления при введении ограничений скорости движения для грузовых и пассажирских поездов, кВт·ч (кг) [99, с. 480]:

$$Q_э = 3,8(P_{\text{л}} + Q_{\text{бр}})(\vartheta_x^2 - \vartheta_x'^2)a_{\text{т·км}} \cdot 10^{-6}, \quad (4.20)$$

где 3,8 – постоянный коэффициент; $P_{\text{л}}$ – масса локомотива, т; $Q_{\text{бр}}$ – масса поезда брутто, т; $a_{\text{т·км}}$ – норма расхода электроэнергии (топлива) на 1 т·км механической работы локомотива, кВт·ч (кг).

Стоимость топливно-энергетических ресурсов принято в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» от 31 декабря 2020 г. № 3025/р [102] и представлена в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Стоимость топливно-энергетических ресурсов на 2021 г.

№ п/п	Наименование территории	Стоимость киловатт-часа электроэнергии, руб./ кВт·ч	Стоимость килограмма дизельного топлива, руб./кг
1	ОАО «РЖД»	3,69	44,67
2	Октябрьская	3,77	43,53
3	Калининградская	4,75	44,95
4	Московская	4,63	41,77
5	Горьковская	3,90	42,84
6	Северная	4,16	43,26
7	Северо-Кавказская	5,01	43,32
8	Юго-Восточная	4,59	42,50
9	Приволжская	3,87	41,75
10	Куйбышевская	4,55	40,75
11	Свердловская	3,91	42,70
12	Южно-Уральская	4,64	41,81
13	Западно-Сибирская	3,58	40,71
14	Красноярская	2,87	45,91
15	Восточно-Сибирская	2,38	48,44
16	Забайкальская	3,23	49,50
17	Дальневосточная	3,24	50,90

Дополнительные расходы $Q_{огр}$ по причине ограничения скорости движения поезда из-за дефектности участка ЖДП, руб.:

$$Q_{огр} = N_{ин}(\Delta t_x \cdot C_{пч} + Q_э \cdot P_{эл}), \quad (4.21)$$

где $N_{ин}$ – интенсивность движения на участке ЖДП, пар поездов/сутки; $C_{пч}$ – стоимость 1 ч поезда в движении, руб.

$$N_{ин} = n_{гр} + n_{пас}, \quad (4.22)$$

где $n_{гр}$, $n_{пас}$ – количество грузовых и пассажирских поездов на участке ЖДП соответственно, пар поездов/сутки.

4.5 Расчет ожидаемого ущерба от несвоевременного шлифования рельсов

Определение общего ущерба от несвоевременного шлифования рельсов Y_0 , руб. [104]:

$$Y_0 = Y_1 + Y_2, \quad (4.23)$$

где Y_1 – дополнительные расходы по перевозочным видам деятельности, руб.; Y_2 – размер ущерба, связанного со штрафами за опоздание пассажирских поездов, руб.

Увеличение времени следования поезда приводит к дополнительным расходам на оплату работы локомотивной бригады, электроэнергии или топлива, потребляемых локомотивом. Дополнительные расходы по перевозочным видам деятельности, связанные с задержками поездов в результате инцидентов, вызывающих нарушение графика движения поездов, в общем случае определяются по формуле, руб. [104]:

$$Y_1 = Y_1^{\text{пасс}} + Y_1^{\text{приг}} + Y_1^{\text{груз}}, \quad (4.24)$$

где $Y_1^{\text{пасс}}$, $Y_1^{\text{приг}}$, $Y_1^{\text{груз}}$ – дополнительные расходы, связанные с задержками пассажирских поездов дальнего следования, пригородных и грузовых поездов соответственно, руб.

Дополнительные расходы, связанные с задержками пассажирских поездов дальнего следования, руб. [104]:

$$Y_1^{\text{пасс}} = a_{\text{лок-ч}}^{\text{пасс}} \cdot \sum t_i, \quad (4.25)$$

где $a_{\text{лок-ч}}^{\text{пасс}}$ – укрупненная расходная ставка на 1 час простоя поездного локомотива с бригадой в пассажирском движении в дальнем сообщении в соответствующем виде тяги (электровозная или тепловая), руб./ч; t_i – продолжительность задержки i -го пассажирского поезда, ч.

Дополнительные расходы, связанные с задержками пригородных пассажирских поездов, руб. [104]:

$$Y_1^{\text{приг}} = a_{\text{п-ч}}^{\text{приг}} \cdot \sum t_{\text{п}}, \quad (4.26)$$

где $a_{п-ч}^{приг}$ – укрупненная расходная ставка на 1 поездо-час простоя пригородного пассажирского поезда в соответствующем виде тяги (электropоезда, дизель-поезда и автомотрисы, либо рельсовые автобусы), руб./ч; $t_{п}$ – продолжительность задержки n -го пригородного пассажирского поезда, ч.

Дополнительные расходы, связанные с задержками грузовых поездов, руб.
[104]:

$$Y_1^{груз} = a_{п-ч}^{груз} \cdot \sum t_k, \quad (4.27)$$

где $a_{п-ч}^{груз}$ – укрупненная расходная ставка на 1 поездо-час простоя грузового поезда в соответствующем виде тяги (электровозная или тепловая), руб./ч; t_k – продолжительность задержки k -го грузового поезда, ч.

В соответствии со ст. 110 ФЗ РФ от 10 января 2003 г. № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» перевозчик, выплачивает пассажиру штраф в размере 3 % от стоимости перевозки за каждый час задержки поезда (но не более стоимости проезда) по отправлению или опоздания по прибытию на станцию назначения [104]:

Размер ущерба, связанного со штрафами за опоздание пассажирских поездов, определяется по следующей формуле [104]:

$$Y_2^{пасс} = \begin{cases} \sum c_{i-k}^{пасс} \cdot 0,03 t_k, & \text{при } t_k \leq 33,3 \\ \sum c_{i-k}^{пасс}, & \text{при } t_k > 33,3 \end{cases}, \quad (4.28)$$

где $c_{i-k}^{пасс}$ – стоимость проезда i -го пассажира до k -ой станции, по которой в системе ИХ АВГД зарегистрировано опоздание пассажирского поезда продолжительностью более 1 ч, руб.; t_k – продолжительность опоздания пассажирского поезда по прибытию на k -ую железнодорожную станцию посадки-высадки пассажиров, ч.

В соответствии с требованиями распоряжений ОАО «РЖД» от 25 октября 2010 г. № 2194р, от 12 апреля 2012 г. № 748р, предусмотрен порядок выплаты денежной компенсации пассажирам высокоскоростных поездов «Сапсан», скоростных поездов «Аллегро» и «Невский Экспресс» в дополнение к суммам штрафов, предусмотренных ст. 110 Устава железнодорожного транспорта. Данный

порядок предусматривает выплату пассажирам денежной компенсации за опоздание поезда на станцию назначения. В зависимости от продолжительности опоздания размер компенсации составляет [104]:

- 25 % стоимости проезда при опоздании поезда от 30 до 60 мин.;
- 50 % стоимости проезда при опоздании на станцию назначения от 61 до 120 мин.;
- 100 % стоимости проезда при опоздании от 121 мин. и более.

В случае опоздания в результате инцидента высокоскоростного поезда «Сапсан», скоростных поездов «Аллегро» и «Невский Экспресс» формируется дополнительная составляющая ущерба, связанная с выплатами денежных компенсаций пассажирам.

Учитывая вышеизложенные положения, размер ущерба, связанного с выплатами денежных компенсаций определяется следующим образом [104]:

$$Y_2^{\text{скор}} = \sum 0,25 c_{j-k}^{\text{скор}} + \sum 0,5 c_{p-r}^{\text{скор}} + \sum c_{m-n}^{\text{скор}}, \quad (4.29)$$

где $c_{j-k}^{\text{скор}}$ – стоимость проезда j -го пассажира до k -ой станции, по которой задержка высокоскоростного (скоростного) поезда составила от 30 до 60 мин. включительно, руб.; $c_{p-r}^{\text{скор}}$ – стоимость проезда p -го пассажира до r -ой станции, по которой задержка высокоскоростного (скоростного) поезда составила от 61 до 120 мин. включительно, руб.; $c_{m-n}^{\text{скор}}$ – стоимость проезда m -го пассажира до n -ой станции, по которой задержка высокоскоростного (скоростного) поезда составила 121 мин. и более, руб.

4.6 Практическое применение результатов

В табл. 4.4 приведена неполная информация, поступающая от ДИЦДМ, но достаточная для выполнения апробации предложенной методики.

При проведении расчета были приняты следующие допущения:

- РШП к месту работы доставляется в составах хозяйственных поездов;
- РФП отсутствуют в парке ЖДСМ;

– принятые в расчетах расценки, которые заимствованы из различных источников, откорректированы с учетом инфляции на конец 2021 г.;

– следующая проверка технического состояния рельсов запланирована на начало III квартала 2022 г.;

– при необходимости замены ОДР, работы будут проведены через 7 суток после повторной технической проверки;

– при расчете расходов учитываются потери компании за 7 суток до первой проверки технического состояния рельсов;

– дефект находится в регионе Западно-Сибирской железной дороги;

– по рассматриваемому двухпутному участку ЖДП передвигаются только грузовые поезда;

– средний состав поезда в вагонах $n_{\text{в}} = 85$ шт.;

– средняя длина вагона, $l_{\text{в}} = 14,7$ м;

– длина локомотива $l_{\text{лок}} = 31,83$ м;

– установленная скорость движения поездов $v_{\text{п}} = 81$ км/ч;

– на рассматриваемом участке ЖДП обращаются только электровозы;

– количество грузовых поездов на участке ЖДП $n_{\text{гр}} = 39$ пар поездов/сутки.

– при присвоении дефекту рельса СВЗ в функции расхода учитываются затраты на замену рельса (для $k = 1$).

Вычислительные операции производились в полуавтоматизированном режиме с использованием программ Microsoft Excel и Mathcad. На практике в расчетах будет участвовать N множество дефектов, для анализа которых потребуется написание исходного кода (компьютерной программы). Кроме того, необходимость применения исходного кода (компьютерной программы) обусловлена возможным порождением определенных вычислительных сложностей (ошибками машинного округления). Чем больше вычислительных операций производится, тем заметнее становятся ошибки.

Таблица 4.4 – Исходные данные для расчета

Порядковый номер дефекта	ПЧ	Дата обнаружения	Пропущенный тоннаж на момент обнаружения дефекта, млн т бр.	Категория ЖДП	План ЖДП: кривая (R, м), прямая (П)	Уклон, ‰: Подъем (П), спуск (С)	Код дефекта	Фактическое значение дефекта $h_{\text{факт}}$, мм	Протяженность участка шлифования $l_{\text{шл}}$, км	Годовая грузонапряженность $T_{\text{Г}}^i$, млн т бр.
1	ПЧ-31 Белово	03.10.2021	540,8	1	П	–	10.1	1,8	1,5	118,3
2	ПЧ-19 Заринск	09.10.2021	944,4	1	Кривая, R = 400 м	3 (П)	40.0	1,9	2,9	95,8
3	ПЧ-12 Болотное	11.10.2021	187,7	1	Кривая, R = 500 м	–	41.0	1,3	4,1	91,2
4	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	11.10.2021	903,1	1	П	5 (С)	40.0	1,4	2,2	127,4
5	ПЧ-4 Калачинск	12.10.2021	355,5	1	Кривая, R = 300 м	–	10.1	0,9	2,4	104,8

Принимая во внимание изложенные ранее методики расчета, а также [88], было установлено, что средняя стоимость оказания услуг по шлифованию 1 км рельсов составляет $Q_{\text{шл}} = 84955$ руб., а средняя стоимость сплошной смены 1 км рельсов $Q_{\text{см}} = 2807960$ руб.

Далее приведен пример расчета для первого дефекта (ПЧ-31 Белово).

Длина участка ЖДП с ограничением скорости движения с учетом длины поезда $L_{\text{огр}}$ определена по формуле (4.15):

$$L_{\text{огр}} = 1500 + 1600 + 85 \cdot 14,7 + 31,83 + 10 = 4391 \text{ м.}$$

Учитывая данные, приведенные в классификаторе дефектов рельсов, условиях расчета, а также табл. 2,3, установлено, что при переходе дефектности в СВ2 скорость поездов ограничивается 70 км/ч, а при переходе в СВ3 – 40 км/ч.

Дополнительное время хода поезда по перегону из-за ограничений скоростей движения Δt_x рассчитано по формуле (4.19):

$$\Delta t_x(\text{СВ2}) = \left(\frac{1}{70} - \frac{1}{81} \right) \frac{4391}{1000} = 0,0087 \text{ ч;}$$

$$\Delta t_x(\text{СВ3}) = \left(\frac{1}{40} - \frac{1}{81} \right) \frac{4391}{1000} = 0,0558 \text{ ч.}$$

Дополнительное время по пропуску поездов при введении ограничений скоростей движения Δt рассчитано по формуле (4.18):

$$\Delta t(\text{СВ2}) = 0,0087 + \frac{3}{60} = 0,0587 \text{ ч;}$$

$$\Delta t(\text{СВ3}) = 0,0558 + \frac{3}{60} = 0,1058 \text{ ч.}$$

Дополнительные расходы электроэнергии Q_3 на разгоны и замедления при введении ограничений скоростей движения для поездов рассчитаны по формуле (4.20):

$$Q_3(\text{СВ2}) = 3,8(3570 + 8137,5)(81^2 - 70^2)3,6 \cdot 10^{-6} = 266 \text{ кВт}\cdot\text{ч;}$$

$$Q_3(\text{СВ3}) = 3,8(3570 + 8137,5)(81^2 - 40^2)3,6 \cdot 10^{-6} = 794 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Дополнительные расходы $Q_{\text{огр}}$ по причине ограничения скоростей движения поездов из-за дефектности участка ЖДП рассчитаны по формуле (4.21):

$$Q_{\text{огр}}(\text{CB2}) = 39(0,0087 \cdot 12252,37 + 266 \cdot 3,58) = 41296 \text{ руб./сутки};$$

$$Q_{\text{огр}}(\text{CB3}) = 39(0,0558 \cdot 12252,37 + 794 \cdot 3,58) = 137523 \text{ руб./сутки}.$$

Стоимость киловатт-часа электроэнергии принято в соответствии с табл.

4.3.

Планируемое количество проходов РШП $N_{\text{п}}$ определено по формуле (4.1):

$$N_{\text{п}}(\text{CB1}) = \frac{1,8+0,2}{0,2} = 10;$$

$$N_{\text{п}}(\text{CB2}) = \frac{2,2+0,2}{0,2} = 12;$$

$$N_{\text{п}}(\text{CB3}) = \frac{3,1+0,2}{0,2} = 17.$$

Планируемый объем шлифования $l_{\text{шл}}$ определен по формуле (4.2):

$$l_{\text{шл}}(\text{CB1}) = 1,5 \cdot 10 = 15 \text{ км};$$

$$l_{\text{шл}}(\text{CB2}) = 1,5 \cdot 12 = 18 \text{ км};$$

$$l_{\text{шл}}(\text{CB3}) = 1,5 \cdot 17 = 25,5 \text{ км}.$$

Время, затрачиваемое на шлифование рельсов $t_{\text{раб}}$ определено по формуле (4.3):

$$t_{\text{раб}}(\text{CB1}) = \frac{15}{5} = 3 \text{ ч};$$

$$t_{\text{раб}}(\text{CB2}) = \frac{18}{5} = 3,6 \text{ ч};$$

$$t_{\text{раб}}(\text{CB3}) = \frac{25,5}{5} = 5,1 \text{ ч}.$$

Полученные значения удовлетворяют условию (1.3).

Средний (расчетный) интервал между поездами попутного следования $J_{\text{ср}}$ рассчитан по формуле (4.17):

$$J_{\text{ср}} = \frac{24}{39} = 0,615 \text{ ч}.$$

Временные потери в «окно» Q_t рассчитаны по формуле (4.16):

$$Q_t = \frac{t_0^2}{0,67^2} (0,67 - 0,615) \left(1 + \frac{0,67-0,615}{0,615-0,167} \right) = 0,14t_0^2 \text{ поездо-часов}.$$

Дополнительные расходы $Q_{\text{пр}}$ по причине простоя поезда в «окно» рассчитаны по формуле (4.14). Принято допущение, что поезда обращаются по участку ЖДП с одинаковым интервалом в течение суток. Тогда $Q_{\text{пр}}$ составит:

$$Q_{\text{пр}}(\text{сМ}) = \frac{0,14 \cdot 3^2 \cdot 1000}{4391 - 1500} 12252,37 \cdot 5 = 26700 \text{ руб.};$$

$$Q_{\text{пр}}(\text{СВ1}) = Q_{\text{пр}}(\text{сМ}) = 26700 \text{ руб.};$$

$$Q_{\text{пр}}(\text{СВ2}) = \frac{0,14 \cdot 3,6^2 \cdot 1000}{4391 - 1500} 12252,37 \cdot 5 = 38448 \text{ руб.};$$

$$Q_{\text{пр}}(\text{СВ3}) = \frac{0,14 \cdot 5,1^2 \cdot 1000}{4391 - 1500} 12252,37 \cdot 5 = 77163 \text{ руб.}$$

Используя формулы (3.1-3.5), составлена матрица переходных вероятностей (см. рис. 4.1):

$$P^1 = \begin{pmatrix} 0,37 & 0,53 & 0,1 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

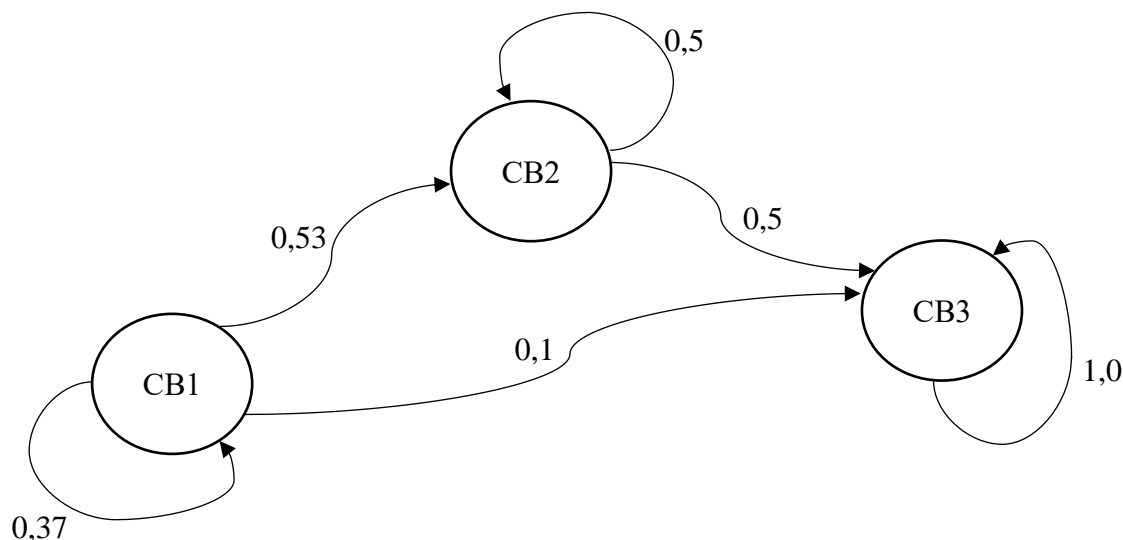


Рисунок 4.1 – Графическая цепь маркова для $k = 1$

Для полученных вероятностей выполнен расчет функций расхода согласно табл. 4.1:

$$r_{11}^1 = 0 \text{ руб.};$$

$$r_{12}^1 = 41296 \cdot 7 = 289072 \text{ руб.};$$

$$r_{13}^1 = 137523 \cdot 7 + 26700 + 2807960 \cdot 1,5 = 5201301 \text{ руб.};$$

$$r_{21}^1 = 0 \text{ руб.};$$

$$r_{22}^1 = 41296 \cdot 7 \cdot 2 = 578144 \text{ руб.};$$

$$r_{23}^1 = (41296 + 137523) \cdot 7 + 26700 + 2807960 \cdot 1,5 = 5490373 \text{ руб.};$$

$$r_{31}^1 = 0 \text{ руб.};$$

$$r_{32}^1 = 0 \text{ руб.};$$

$$r_{33}^1 = 137523 \cdot 7 \cdot 2 + 26700 + 2807960 \cdot 1,5 = 6163962 \text{ руб.};$$

Полученные данные сведены в матрицу расходов:

$$R^1 = \begin{pmatrix} 0 & 289072 & 5201301 \\ 0 & 578144 & 5490373 \\ 0 & 0 & 6163962 \end{pmatrix}.$$

Аналогичный расчет выполнен для второй альтернативной стратегии. Используя формулы (3.1-3.5), составлена матрица переходных вероятностей (см. рис. 4.2):

$$P^2 = \begin{pmatrix} 0,62 & 0,34 & 0,04 \\ 0,62 & 0,34 & 0,04 \\ 0,62 & 0,34 & 0,04 \end{pmatrix}.$$

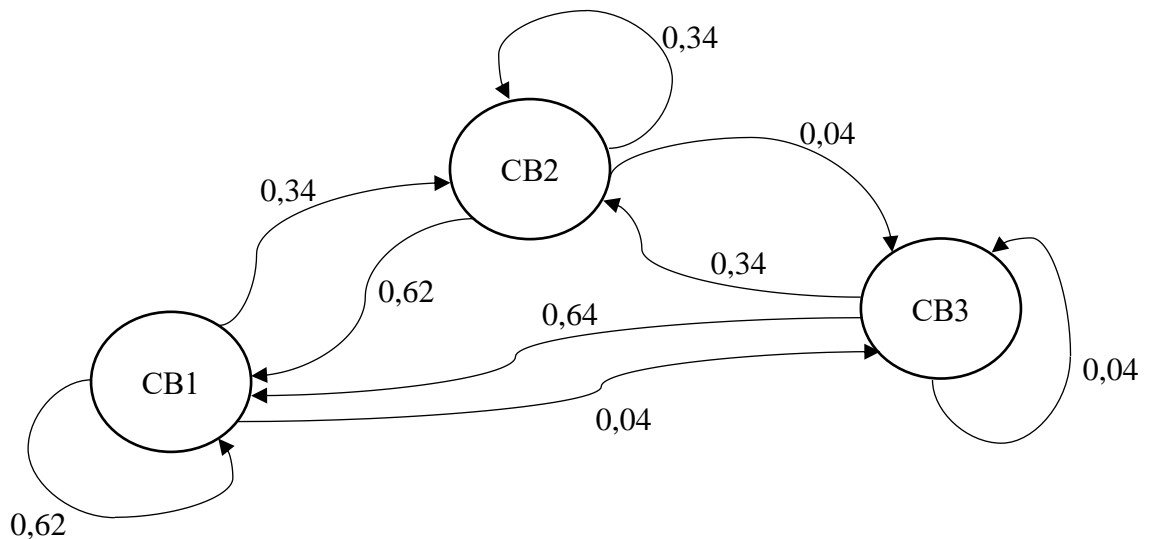


Рисунок 4.2 – Графическая цепь маркова для $k = 2$

Для полученных вероятностей выполнен расчет функций расхода согласно табл. 4.1:

$$r_{11}^2 = 26700 + 84955 \cdot 15 = 1301025 \text{ руб.};$$

$$r_{12}^2 = 41296 \cdot 7 + 26700 + 84955 \cdot 15 = 1590097 \text{ руб.};$$

$$r_{13}^2 = 137523 \cdot 7 + 26700 + 84955 \cdot 15 = 2263686 \text{ руб.};$$

$$r_{21}^2 = 41296 \cdot 7 + 38448 + 84955 \cdot 18 = 1856710 \text{ руб.};$$

$$r_{22}^2 = 41296 \cdot 7 \cdot 2 + 38448 + 84955 \cdot 18 = 2145782 \text{ руб.};$$

$$r_{23}^2 = (41296 + 137523) \cdot 7 + 38448 + 84955 \cdot 18 = 2819371 \text{ руб.};$$

$$r_{31}^2 = 137523 \cdot 7 + 77163 + 84955 \cdot 25,5 = 3206177 \text{ руб.};$$

$$r_{32}^2 = (41296 + 137523) \cdot 7 + 77163 + 84955 \cdot 25,5 = 3495249 \text{ руб.};$$

$$r_{33}^1 = 137523 \cdot 7 \cdot 2 + 26700 + 84955 \cdot 25,5 = 4118375 \text{ руб.}$$

Полученные данные сведены в матрицу расходов:

$$R^2 = \begin{pmatrix} 1301025 & 1590097 & 2263686 \\ 1856710 & 2145782 & 2819371 \\ 3206177 & 3495249 & 4118375 \end{pmatrix}.$$

Остальные матрицы P^k и R^k для стратегий планирования работ определены из матриц 1 и 2:

$$P^3 = \begin{pmatrix} 0,62 & 0,34 & 0,04 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, R^3 = \begin{pmatrix} 1301025 & 1590097 & 2263686 \\ 0 & 578144 & 5490373 \\ 0 & 0 & 6163962 \end{pmatrix};$$

$$P^4 = \begin{pmatrix} 0,37 & 0,53 & 0,1 \\ 0,62 & 0,34 & 0,04 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, R^4 = \begin{pmatrix} 0 & 289072 & 5201301 \\ 1856710 & 2145782 & 2819371 \\ 0 & 0 & 6163962 \end{pmatrix};$$

$$P^5 = \begin{pmatrix} 0,37 & 0,53 & 0,1 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,62 & 0,34 & 0,04 \end{pmatrix}, R^5 = \begin{pmatrix} 0 & 289072 & 5201301 \\ 0 & 578144 & 5490373 \\ 3206177 & 3495249 & 4118375 \end{pmatrix};$$

$$P^6 = \begin{pmatrix} 0,62 & 0,34 & 0,04 \\ 0,62 & 0,34 & 0,04 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, R^6 = \begin{pmatrix} 1301025 & 1590097 & 2263686 \\ 1856710 & 2145782 & 2819371 \\ 0 & 0 & 6163962 \end{pmatrix};$$

$$P^7 = \begin{pmatrix} 0,62 & 0,34 & 0,04 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,62 & 0,34 & 0,04 \end{pmatrix}, R^7 = \begin{pmatrix} 1301025 & 1590097 & 2263686 \\ 0 & 578144 & 5490373 \\ 3206177 & 3495249 & 4118375 \end{pmatrix};$$

$$P^8 = \begin{pmatrix} 0,37 & 0,53 & 0,1 \\ 0,62 & 0,34 & 0,04 \\ 0,62 & 0,34 & 0,04 \end{pmatrix}, R^8 = \begin{pmatrix} 0 & 289072 & 5201301 \\ 1856710 & 2145782 & 2819371 \\ 3206177 & 3495249 & 4118375 \end{pmatrix}.$$

Ожидаемые расходы v_i^k , обусловленные переходом из степени i в степень j при заданной альтернативе k , рассчитаны по формуле (2.6):

$$v_1^1 = 0,37 \cdot 0 + 0,53 \cdot 289072 + 0,1 \cdot 5201301 = 673338 \text{ руб.};$$

$$v_2^1 = 0,5 \cdot 578144 + 0,5 \cdot 5490373 = 3034259 \text{ руб.};$$

$$v_3^1 = 6163962 \text{ руб.};$$

$$v_1^2 = 0,62 \cdot 1301025 + 0,34 \cdot 1590097 + 0,04 \cdot 2263686 = 1437816 \text{ руб.};$$

$$v_2^2 = 0,62 \cdot 1856710 + 0,34 \cdot 2145782 + 0,04 \cdot 2819371 = 1993501 \text{ руб.};$$

$$v_3^2 = 0,62 \cdot 3206177 + 0,34 \cdot 3495249 + 0,04 \cdot 4118375 = 3340949 \text{ руб.};$$

$$v_1^3 = 0,62 \cdot 1301025 + 0,34 \cdot 1590097 + 0,04 \cdot 2263686 = 1437816 \text{ руб.};$$

$$v_2^3 = 0,5 \cdot 578144 + 0,5 \cdot 5490373 = 3034259 \text{ руб.};$$

$$v_3^3 = 6163962 \text{ руб.};$$

$$v_1^4 = 0,37 \cdot 0 + 0,53 \cdot 289072 + 0,1 \cdot 5201301 = 673338 \text{ руб.};$$

$$v_2^4 = 0,62 \cdot 1856710 + 0,34 \cdot 2145782 + 0,04 \cdot 2819371 = 1993501 \text{ руб.};$$

$$v_3^4 = 6163962 \text{ руб.};$$

$$v_1^5 = 0,37 \cdot 0 + 0,53 \cdot 289072 + 0,1 \cdot 5201301 = 673338 \text{ руб.};$$

$$v_2^5 = 0,5 \cdot 578144 + 0,5 \cdot 5490373 = 3034259 \text{ руб.};$$

$$v_3^5 = 0,62 \cdot 3206177 + 0,34 \cdot 3495249 + 0,04 \cdot 4118375 = 3340949 \text{ руб.};$$

$$v_1^6 = 0,62 \cdot 1301025 + 0,34 \cdot 1590097 + 0,04 \cdot 2263686 = 1437816 \text{ руб.};$$

$$v_2^6 = 0,62 \cdot 1856710 + 0,34 \cdot 2145782 + 0,04 \cdot 2819371 = 1993501 \text{ руб.};$$

$$v_3^6 = 6163962 \text{ руб.};$$

$$v_1^7 = 0,62 \cdot 1301025 + 0,34 \cdot 1590097 + 0,04 \cdot 2263686 = 1437816 \text{ руб.};$$

$$v_2^7 = 0,5 \cdot 578144 + 0,5 \cdot 5490373 = 3034259 \text{ руб.};$$

$$v_3^7 = 0,62 \cdot 3206177 + 0,34 \cdot 3495249 + 0,04 \cdot 4118375 = 3340949 \text{ руб.};$$

$$v_1^8 = 0,37 \cdot 0 + 0,53 \cdot 289072 + 0,1 \cdot 5201301 = 673338 \text{ руб.};$$

$$v_2^8 = 0,62 \cdot 1856710 + 0,34 \cdot 2145782 + 0,04 \cdot 2819371 = 1993501 \text{ руб.};$$

$$v_3^8 = 0,62 \cdot 3206177 + 0,34 \cdot 3495249 + 0,04 \cdot 4118375 = 3340949 \text{ руб.}$$

Результаты вычислений накапливающегося переходного расхода сведены в табл. 4.5.

Долгосрочные вероятности π_i^k матрицы переходных вероятностей P^k , соответствующей стратегии k , находятся путем решения системы по формуле (2.11). Для стратегии $k = 1$ система будет иметь вид:

$$\begin{cases} 0,37 \cdot \pi_1^1 + 0 \cdot \pi_2^1 + 0 \cdot \pi_3^1 = \pi_1^1 \\ 0,53 \cdot \pi_1^1 + 0,5\pi_2^1 + 0 \cdot \pi_3^1 = \pi_2^1 \\ 0,1 \cdot \pi_1^1 + 0,5 \cdot \pi_2^1 + 1 \cdot \pi_3^1 = \pi_3^1 \\ \pi_1^1 + \pi_2^1 + \pi_3^1 = 1 \end{cases}$$

Решением системы для стратегии $k = 1$ будут являться:

$$\pi_1^1 = 0, \pi_2^1 = 0, \pi_3^1 = 1.$$

Таблица 4.5 – Результаты вычислений накапливающегося переходного расхода для всех стратегий планирования работ

Стратегия планирования работ k	Ожидаемый расход v_i^k , тыс. руб.		
	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
1	673338	3034259	6163962
2	1437816	1993501	3340949
3	1437816	3034259	6163962
4	673338	1993501	6163962
5	673338	3034259	3340949
6	1437816	1993501	6163962
7	1437816	3034259	3340949
8	673338	1993501	3340949

Для стратегии $k = 2$ система будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,62 \cdot \pi_1^2 + 0,62 \cdot \pi_2^2 + 0,62 \cdot \pi_3^2 = \pi_1^2 \\ 0,34 \cdot \pi_1^2 + 0,34 \cdot \pi_2^2 + 0,34 \cdot \pi_3^2 = \pi_2^2 \\ 0,04 \cdot \pi_1^2 + 0,04 \cdot \pi_2^2 + 0,04 \cdot \pi_3^2 = \pi_3^2 \\ \pi_1^2 + \pi_2^2 + \pi_3^2 = 1 \end{array} \right.$$

Решением системы для стратегии $k = 2$ будут являться:

$$\pi_1^2 = 31/50, \pi_2^2 = 17/50, \pi_3^2 = 2/50.$$

Для стратегии $k = 3$ система будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,62 \cdot \pi_1^3 + 0 \cdot \pi_2^3 + 0 \cdot \pi_3^3 = \pi_1^3 \\ 0,34 \cdot \pi_1^3 + 0,5 \cdot \pi_2^3 + 0 \cdot \pi_3^3 = \pi_2^3 \\ 0,04 \cdot \pi_1^3 + 0,5 \cdot \pi_2^3 + 1 \cdot \pi_3^3 = \pi_3^3 \\ \pi_1^3 + \pi_2^3 + \pi_3^3 = 1 \end{array} \right.$$

Решением системы для стратегии $k = 3$ будут являться:

$$\pi_1^3 = 0, \pi_2^3 = 0, \pi_3^3 = 1.$$

Для стратегии $k = 4$ система будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,37 \cdot \pi_1^4 + 0,62 \cdot \pi_2^4 + 0 \cdot \pi_3^4 = \pi_1^4 \\ 0,53 \cdot \pi_1^4 + 0,34 \cdot \pi_2^4 + 0 \cdot \pi_3^4 = \pi_2^4 \\ 0 \cdot \pi_1^4 + 0 \cdot \pi_2^4 + 1 \cdot \pi_3^4 = \pi_3^4 \\ \pi_1^4 + \pi_2^4 + \pi_3^4 = 1 \end{array} \right.$$

Решением системы для стратегии $k = 4$ будут являться:

$$\pi_1^4 = 0, \pi_2^4 = 0, \pi_3^4 = 1.$$

Для стратегии $k = 5$ система будет иметь вид:

$$\begin{cases} 0,37 \cdot \pi_1^5 + 0 \cdot \pi_2^5 + 0,62 \cdot \pi_3^5 = \pi_1^5 \\ 0,53 \cdot \pi_1^5 + 0,5 \cdot \pi_2^5 + 0,34 \cdot \pi_3^5 = \pi_2^5 \\ 0,1 \cdot \pi_1^5 + 0,5 \cdot \pi_2^5 + 0,04 \cdot \pi_3^5 = \pi_3^5 \\ \pi_1^5 + \pi_2^5 + \pi_3^5 = 1 \end{cases}$$

Решением системы для стратегии $k = 5$ будут являться:

$$\pi_1^5 = 1550/5839, \pi_2^5 = 2714/5839, \pi_3^5 = 1575/5839.$$

Для стратегии $k = 6$ система будет иметь вид:

$$\begin{cases} 0,62 \cdot \pi_1^6 + 0,62 \cdot \pi_2^6 + 0 \cdot \pi_3^6 = \pi_1^6 \\ 0,34 \cdot \pi_1^6 + 0,34 \cdot \pi_2^6 + 0 \cdot \pi_3^6 = \pi_2^6 \\ 0,04 \cdot \pi_1^6 + 0,04 \cdot \pi_2^6 + 1 \cdot \pi_3^6 = \pi_3^6 \\ \pi_1^6 + \pi_2^6 + \pi_3^6 = 1 \end{cases}$$

Решением системы для стратегии $k = 6$ будут являться:

$$\pi_1^6 = 0, \pi_2^6 = 0, \pi_3^6 = 1.$$

Для стратегии $k = 7$ система будет иметь вид:

$$\begin{cases} 0,62 \cdot \pi_1^7 + 0 \cdot \pi_2^7 + 0,62 \cdot \pi_3^7 = \pi_1^7 \\ 0,34 \cdot \pi_1^7 + 0,5 \cdot \pi_2^7 + 0,34 \cdot \pi_3^7 = \pi_2^7 \\ 0,04 \cdot \pi_1^7 + 0,5 \cdot \pi_2^7 + 0,04 \cdot \pi_3^7 = \pi_3^7 \\ \pi_1^7 + \pi_2^7 + \pi_3^7 = 1 \end{cases}$$

Решением системы для стратегии $k = 7$ будут являться:

$$\pi_1^7 = 31/84, \pi_2^7 = 34/84, \pi_3^7 = 19/84.$$

Для стратегии $k = 8$ система будет иметь вид:

$$\begin{cases} 0,37 \cdot \pi_1^8 + 0,62 \cdot \pi_2^8 + 0,62 \cdot \pi_3^8 = \pi_1^8 \\ 0,53 \cdot \pi_1^8 + 0,34 \cdot \pi_2^8 + 0,34 \cdot \pi_3^8 = \pi_2^8 \\ 0,1 \cdot \pi_1^8 + 0,04 \cdot \pi_2^8 + 0,04 \cdot \pi_3^8 = \pi_3^8 \\ \pi_1^8 + \pi_2^8 + \pi_3^8 = 1 \end{cases}$$

Решением системы для стратегии $k = 8$ будут являться:

$$\pi_1^8 = 1550/3125, \pi_2^8 = 1357/3125, \pi_3^8 = 218/3125.$$

Ожидаемый расход за один шаг Q^k , соответствующий стратегии k , рассчитан по формуле (2.12):

$$Q^2 = \frac{1}{50} (31 \cdot 1437816 + 17 \cdot 1993501 + 2 \cdot 3340949) = 1702874 \text{ руб.};$$

$$Q^5 = \frac{1}{5839} (1550 \cdot 673338 + 2714 \cdot 3034259 + 1575 \cdot 3340949) = 2490263 \text{ руб.};$$

$$Q^7 = \frac{1}{84} (31 \cdot 1437816 + 34 \cdot 3034259 + 19 \cdot 3340949) = 2514466 \text{ руб.};$$

$$Q^8 = \frac{1}{3125} (1550 \cdot 673338 + 1357 \cdot 1993501 + 218 \cdot 4118375) = 1486931 \text{ руб.}$$

Результаты вычислений представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты вычислений ожидаемых расходов для разных стратегий планирования работ

k	π_1^k	π_2^k	π_3^k	Q^k
1	0	0	1	6163962
2	31/50	17/50	2/50	1702874
3	0	0	1	6163962
4	0	0	1	6163962
5	1550/5839	2714/5839	1575/5839	2490263
6	0	0	1	6163962
7	31/84	34/84	19/84	2514466
8	1550/3125	1357/3125	218/3125	1486931

Поскольку оптимальная стратегия k должна соответствовать условию (2.13), то из табл. 4.6 следует, что восьмая долгосрочная стратегия планирования работ (выполнять шлифование только в том случае, когда рельсам присвоена СВ2 или СВ3) является наиболее рентабельной, т. к. компания понесет наименьшие расходы. Данный вывод основывается на том, что при присвоении дефектам СВ2 или СВ3 появляются дополнительные расходы в связи с ограничением скорости движения поездов, которое сопровождается дополнительными расходами на электроэнергию (топлива) для разгона и замедления, дополнительными расходами по перевозочным видам деятельности и пр. Кроме того, из табл. 4.6 видно, что стратегии 1, 3, 4 и 6 имеют поглощающее состояние. Это никоим образом не влияет на результаты расчетов.

По рассмотренной ранее методике был выполнен расчет для остальных дефектов рельсов. Итоговые суммарные затраты сведены в развернутую табл. 4.7.

Таблица 4.7 – Зависимость финансовых расходов от порядка приоритетности шлифования

№ п/п	Порядковый номер очередности шлифования					Расход, руб.
	1	2	3	4	5	
1	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	7 281 495
2	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 215 228
3	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	7 225 425
4	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	7 103 088
5	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 092 894
6	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	7 036 824
7	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	7 250 913
8	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 184 646
9	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	7 268 754
10	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	7 220 328
11	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 136 223
12	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Кала- чинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	7 154 064
13	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	7 243 266
14	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	7 120 929
15	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	7 317 177

Продолжение таблицы 4.7

16	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	7 268 751
17	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	7 072 506
18	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	7 146 417
19	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 044 468
20	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	6 988 398
21	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 118 379
22	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	7 136 220
23	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	7 006 239
24	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	7 080 150
25	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	8 183 718
26	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	7 918 659
27	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	8 117 454
28	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 786 128
29	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	7 684 182
30	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 617 915
31	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	7 676 535

Продолжение таблицы 4.7

32	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	7 554 198
33	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	7 967 082
34	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	8 232 141
35	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	7 722 411
36	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Кала- чинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	8 109 807
37	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 477 737
38	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	7 421 667
39	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Кала- чинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	8 099 610
40	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 768 284
41	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	7 656 144
42	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	8 043 540
43	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	7 401 282
44	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 335 015
45	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	7 345 212
46	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	7 222 875
47	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 212 681

Продолжение таблицы 4.7

48	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	7 156 611
49	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	7 809 066
50	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	8 122 551
51	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	7 689 279
52	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	7 640 853
53	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	7 905 915
54	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	8 170 974
55	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 490 481
56	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	7 508 322
57	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 707 117
58	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	8 038 443
59	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	7 742 799
60	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	8 056 284
61	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	7 340 115
62	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 273 848
63	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	7 309 530

Продолжение таблицы 4.7

64	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	7 357 956
65	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	7 243 266
66	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 225 425
67	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	8 153 133
68	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	7 888 074
69	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	8 086 869
70	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 755 543
71	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	7 653 597
72	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Кала- чинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	7 587 330
73	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	7 419 120
74	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	7 493 031
75	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	8 023 152
76	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	7 635 756
77	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	7 783 578
78	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	8 097 063
79	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	7 324 824

Продолжение таблицы 4.7

80	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	7 202 487
81	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	7 398 735
82	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	7 350 309
83	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	7 154 064
84	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	7 227 975
85	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	7 638 306
86	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	7 515 969
87	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	7 928 853
88	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	8 193 912
89	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	7 684 182
90	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	8 071 578
91	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	7 801 422
92	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	8 114 907
93	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	7 681 635
94	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	7 633 209
95	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	8 163 330

Продолжение таблицы 4.7

96	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-4 Калачинск	7 898 271
97	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	7 176 999
98	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	7 120 929
99	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-19 Заринск	7 268 751
100	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	7 250 910
101	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	7 138 770
102	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	7 212 681
103	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	7 781 028
104	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-31 Белово	8 112 354
105	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	7 668 888
106	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	8 056 284
107	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	7 490 481
108	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-12 Болотное	7 434 411
109	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	7 533 810
110	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	ПЧ-19 Заринск	7 551 651
111	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-28 Анжеро-Судженск	7 750 446

Продолжение таблицы 4.7

112	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	8 081 772
113	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	7 786 128
114	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	8 099 613
115	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-31 Белово	8 148 036
116	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	7 834 551
117	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	7 470 093
118	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-31 Белово	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-19 Заринск	7 544 004
119	ПЧ-4 Калачинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-19 Заринск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	8 074 125
120	ПЧ-4 Кала- чинск	ПЧ-28 Анжеро- Судженск	ПЧ-12 Болотное	ПЧ-31 Белово	ПЧ-19 Заринск	7 834 551

Из табл. 4.7 следует, что наилучшим вариантом планирования работ является № 20 (расходы составят 6988398 руб.), а наихудшим – № 34 (расходы составят 8232141 руб.).

Выводы по разделу 4

1. Разработанный метод планирования работ позволяет проводить своевременное шлифование рельсов с учетом фактического состояния дефектов и недопущения «искусственного» износа, тем самым продлевая срок эксплуатации рельсов.

2. На планирование работ могут оказывать влияние множество факторов: финансовые средства, выделяемые на устранение дефектов рельсов в рамках рассматриваемого периода времени (структурные подразделения работают по смете), удаленность РШП от места проведения работ, разрозненность объектов планирования, регион эксплуатации РШП, срыв «окна» по причине нарушения технологических процессов, сбоев или нарушений в выполнении нормативных графиков движения поездов и т. д. Обозначенные факторы будут приводить к срыву плана, оказывать влияние на значение износа и, как следствие, на итоговую сумму затрат проведения работ по шлифованию рельсов.

3. Одним из преимуществ разработанного метода организации работ является его адаптивность к внешним условиям. При написании исходного кода (компьютерной программы) станет возможным проводить расчетные операции в автоматизированном режиме, подстраиваясь под сложившиеся реалии.

4. Экономическим расчетом установлено, что при планировании работ по предложенной методике возможно сэкономить до 15 % затрат из бюджета компании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решена научная задача, имеющая большое значение для путевого хозяйства железнодорожной отрасли, заключающаяся в исследовании и разработке научно-методических основ повышения эффективности производственного процесса текущего содержания и ремонта ЖДП и создания на этой основе метода технологических воздействий по шлифованию рельсов для обеспечения своевременного удаления дефектов рельсов с минимальными финансовыми затратами.

В работе получены следующие научные и практические результаты:

1. Разработана математическая модель оценки эффективности рельсошлифовальных работ, позволяющая на основе динамического программирования производить оптимизацию стратегий шлифования рельсов с минимизацией предстоящих расходов по содержанию ЖДП.

2. Установлены критериальные значения дефектов рельсов, удаляемых шлифованием, по степеням важности, позволяющие для различных условий эксплуатации ЖДП производить ранжирование дефектов рельсов по приоритетности их устранения с назначением соответствующего ранга.

3. На основе обобщения и систематизации данных о развитии дефектов в головке рельса, удаляемых шлифованием, установлены закономерности развития дефектов рельсов в зависимости от условий эксплуатации, конструкции ЖДП и пропущенного тоннажа.

4. Разработана методика определения вероятности перехода дефектности рельсов из одной степени важности в другую на основе установленных закономерностей развития дефектов рельсов от условий эксплуатации ЖДП.

5. Разработан принципиально новый подход в планировании рельсошлифовальных работ, основанный на прогнозировании развития дефектности рельсов и позволяющий производить своевременное устранение дефектов в рельсах

с минимальными финансовыми затратами, с учетом обеспечения безопасности движения и недопущения образования острорельсовых дефектов.

6. Расчетом экономической эффективности было установлено, что планирование работ по шлифованию рельсов в соответствии с разработанным методом позволяет сократить затраты на содержание ЖДП до 15 %.

7. По результатам проведенных исследований разработаны технические задания на создание автоматизированной системы планирования работ по шлифованию рельсов и программно-аппаратного комплекса оценки фактического состояния ЖДП с функцией прогнозирования развития дефектов в рельсах для дальнейшего применения данных цифровых модулей в рамках АСУР.

8. Перспективным продолжением выполненной работы является разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственного процесса шлифования рельсов и его документального обеспечения на всех стадиях реализации.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с действующими стандартами [105-112].

Техническое задание на разработку автоматизированной системы планирования работ по шлифованию рельсов представлено в прил. А.

Техническое задание на разработку программно-аппаратного комплекса оценки фактического состояния ЖДП с функцией прогнозирования развития дефектов в рельсах представлено в прил. Б.

Награды по результатам выполненной диссертационной работы представлены в прил. В.

В перспективе, полученные результаты исследований могут стать основой цифровизации организационно-технологических процессов шлифования рельсов в условиях ЖДП, в рамках которой будут решены следующие задачи [68]:

1. Разработка цифровой имитационной модели производственного процесса шлифования рельсов. Данная модель позволит производить комплексную оценку эффективности организационных и технологических решений, а также

своевременно оптимизировать необходимые мероприятия в производственном процессе рельсошлифования с учетом изменений провозной способности, грузо-напряженности и скорости движения участков железнодорожного пути.

2. Разработка программно-аппаратного комплекса оценки фактического состояния железнодорожного пути с функцией прогнозирования развития дефектов в рельсах, определения технологических воздействий по устранению дефектов рельсов шлифованием и контроля качества выполненных работ по шлифованию рельсов. Так же функционал комплекса позволит производить контроль за периодичностью шлифования на основе данных о наработке рельсов с формированием рекомендаций для корректировки адресного плана и плана производства работ.

3. Создание цифровой платформы для проектирования технологических процессов шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути с применением рельсошлифовальных поездов. Это позволит производить автоматизированную разработку технологических процессов шлифования рельсов с расчетом и определением всех необходимых параметров, в том числе режимов обработки, на основе данных о фактическом состоянии рельсового пути.

4. Создание автоматизированной системы планирования работ и управления производственным процессом шлифования рельсов. Цель системы – это реализация следующих принципов, обеспечивающих получение максимального экономического эффекта, при планировании работ по шлифованию рельсов:

– учитывать смешанный характер грузового, пассажирского и скоростного движений, планировать работы исходя из условий эксплуатации отдельных участков пути с применением превентивного, корректирующего и ремонтного шлифования;

– назначать периодичность шлифования исходя из скорости возникновения и развития наиболее характерного дефекта на конкретном участке пути и необходимости удаления всех возможных дефектов;

– достигать максимальный экономический эффект от шлифования рельсов за счет частого шлифования с наименьшим количеством проходов, а при необходимости больших съемов металла совмещать работу двух и более рельсошлифовальных поездов на перегоне.

Предлагаемые направления развития производственного процесса шлифования рельсов в перспективе позволят устранить недостатки в организационной структуре и, как следствие, повысить эффективность функционирования и качество организации производственной системы за счет обеспечения периодичности выполнения работ, учета фактического состояния рельсов и обеспечения взаимосвязи результатов планирования и выполнения работ по шлифованию рельсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Инструкции «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов» : распоряжение ОАО «РЖД» от 23 октября 2014 г. № 2499р. – Текст : электронный // Трудовой десант [Сайт]. – URL: <https://www.tdesant.ru/info/item/144> (дата обращения: 27.03.2022).
2. **Певзнер, В. О.** Боковой износ – «болезнь» излечимая / В. О. Певзнер // Гудок : [сайт]. – 2002. – 19 нояб. – URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=775991> (дата обращения: 26.03.2022).
3. **Абдурашитов, А. Ю.** Новый путь / А. Ю. Абдурашитов // Гудок : [сайт]. – 2010. – 7 дек. – URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=704329&archive=2010.12.07> (дата обращения: 26.03.2022).
4. **Абдурашитов, А. Ю.** Разработка нового профиля (типа) рельса / А. Ю. Абдурашитов, С. М. Захаров // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2019. – № 15 (15). – С.22-27. – ISBN 978-5-7473-0391-1.
5. **Абдурашитов, А. Ю.** Оценка влияния условий эксплуатации на потребительские свойства рельсов / А. Ю. Абдурашитов // Наука и образование транспорту. – 2017. – № 2. – С.77-79. – ISBN 978-5-98941-101-6.
6. **Абдурашитов, А. Ю.** Задержаться на службе: как ученые работают над увеличением сроков эксплуатации рельсов / А. Ю. Абдурашитов, К. Л. Заграничек // Пульт управления. – 2019. – № 5. – С. 24-27. ISSN 1815-9400.
7. Инструкция ОАО «РЖД» от 29.12.2014 № 3185р по шлифовке и фрезерованию рельсов в пути и стационарных условиях. – Москва : ОАО «РЖД». – 2015. – 67 с.
8. **Абдурашитов, А. Ю.** Лекарство от усталости / А. Ю. Абдурашитов // Гудок [сайт]. – 2010. – 10 нояб. – URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1355529&archive=2016.11.10> (дата обращения: 26.03.2022).

9. Классификация рельсов, подлежащих шлифовке, для различной ширины колеи: протокол совещания Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу от 25 октября 2018 г. № Р 738. – Текст : электронный // Организация сотрудничества железных дорог : [Сайт]. – URL: <https://osjd.org/api/media/resources/15060> (дата обращения: 29.03.2022).

10. **Бондарев, Э. С.** Прогнозирование технического состояния рельсов по статистическим данным / Э. С. Бондарев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4 (59). – С. 55-61. – ISSN 1815-9265.

11. Анализ состояния рабочей поверхности рельсов опытных партий на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» / М. Ю. Хвостик, И. В. Хромов, О. А. Быкова, Г. А. Берестень // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2018. – № 3. – С. 141-148. – DOI 10.21780/2223-9731-2018-77-3-141-148.

12. **Тимофеева, Л. А.** Причины возникновения волнообразного износа поверхности катания рельсов железнодорожного пути и методы его устранения / Л. А. Тимофеева, Н. Р. Огульчанская // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – № 3. С. 56-58. – ISSN 1681-4886.

13. **ГОСТ Р 50542-93.** Изделия из черных металлов для верхнего строения пути. Термины и определения = Ferrous metals products for the permanent way tracks. Terms and definitions rules : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 30 марта 1993 г. № 97 : введен впервые : дата введения 1994-07-01 / разработан Российской корпорацией производителей черных металлов. – Москва : Госстандарт России, 1993. – 49 с.

14. **Шаламов, В. А.** Повышение производительности технологии шлифования рельсов в пути торцом круга : специальность 05.02.08 «Технология машиностроения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических

наук / Шаламов Владимир Александрович ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2000. – 142 с. – Библиогр.: с. 122-130. – Текст : непосредственный.

15. **Юркова, Е. О.** Повышение производительности технологического процесса восстановления служебных свойств рельсов шлифованием за счет оптимизации выбора ремонтных профилей : специальность 05.02.08 «Технология машиностроения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Юркова Елена Олеговна ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2001. – 151 с. – Библиогр.: с. 127-138. – Текст : непосредственный.

16. **Ильиных, А. С.** Возможности управления уровнем эксплуатационных свойств рельсов в пути шлифованием : специальность 05.02.08 «Технология машиностроения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ильиных Андрей Степанович ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2005. – 140 с. – Библиогр.: с. 114-123. – Текст : непосредственный.

17. **Ильиных, А. С.** Обоснование и разработка научно-методических основ высокопроизводительной технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути : специальность 05.02.007 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ильиных Андрей Степанович ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2013. – 331 с. – Библиогр.: с. 217-229. – Текст : непосредственный.

18. **Дмитриева, О. В.** Возможности повышения долговечности рельсов за счет рациональных режимов и условий шлифования их в пути : специальность 05.02.08 «Технология машиностроения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дмитриева Ольга Викторовна ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2003. – 138 с. – Библиогр.: с. 119-294. – Текст : непосредственный.

19. **Ильиных, А. С.** Научно-методические основы высокопроизводительной технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути / А. С. Ильиных // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – № 1 (69). – С. 89-95. – ISSN 1999-8341.

20. **Esveld, C.** Modern railway track : monograph / C. Esveld ; Delft University of Technology. – Netherlands : MRT-Productions, 2001. – 632 с. – ISBN 90-800324-3-3.

21. **Rowe, W. B.** Principles of modern grinding technology : study guide / W. Brian Rowe ; Liverpool John Moores University. – Liverpool : William Andrew, 2000. – 300 с. – ISBN: 978-0-81552-019-1.

22. **Hempe, T.** Шлифование рельсов как компонент эффективного текущего содержания пути / Т. Hempe, Т. Siefer // Железные дороги мира. – 2009. – № 1. – С. 67-75. – ISSN 0321-1495.

23. **Ilinykh, A.** Informatization of the production process of rail grinding in transit / A. Ilinykh, E. Yurkova, V. Aksenov // Transportation research procedia. – 2021. – Vol. 54. – Pp. 388-396. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.02.088.

24. **Ilinykh, A.** Efficiency of the production process of grinding rails on the basis of optimizing the periodicity of works / A. Ilinykh, A. Matafonov, E. Yurkova // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1116. – Pp. 672-681. – DOI 10.1007/978-3-030-37919-3_67.

25. **Ильиных, А. С.** Российский и зарубежный опыт эксплуатации рельсошлифовальных поездов / А. С. Ильиных, А. В. Матафонов // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 3. – С. 100-104. – ISSN 2074-9325.

26. Стратегия шлифования рельсов / по материалам компаний Speno International SA и Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung // Железные дороги мира. – 2010. – № 10. – С. 66-71. – ISSN 0321-1495.

27. **Reddy, V.** Technical vs economical decisions: case study on preventive rail grinding / Proceedings of the fifth Asia Pacific industrial engineering and management

systems conference // V. Reddy, G. Chattopadhyay, P.-O. Larsson-Kråik. – 2004. – № 30. Pp. 142-150. – DOI 10.1111/rsp3.12029.

28. **Sroba, P.** Шлифование рельсов на железных дорогах Северной Америки / P. Sroba, E. Magel, F. Prah1 // Железные дороги мира. – 2005. – № 5. – С. 16-17. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9181618> (дата обращения: 27.03.2022).

29. **Miller, C.** Realizing the economic development benefits of short-line railroads: the case of Mississippi / C. Miller, B. Stich // Regional Science Policy & Practice. – 2013. – № 6 (1). Pp. 135-142. – DOI 10.1111/rsp3.12029.

30. **Anami, T.** Профилактическое шлифование рельсов в Японии / T. Anami, // Железные дороги мира. – 2005. – № 3. – С. 13-14. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9181585> (дата обращения: 27.03.2022).

31. **Satoh, Y.** Effect of rail grinding on rolling contact fatigue in railway rail used in conventional line in Japan / Y. Satoh, K. Iwafuchi // Contact mechanics and wear of rail/wheel systems. – 2008. – Vol. 265. – Pp. 1342-1348. – DOI 10.1016/j.wear.2008.02.036.

32. Dynamic analysis of a novel rail-grinding car using open-structured abrasive belt for high-speed railways / W. Fan, G. Hou, W. Wang, Y. Wu // Mathematical problems in engineering. – 2019. – Vol. 2019. – Pp. 21-29. – DOI 10.1155/2019/1748679.

33. **Frick, A.** Шлифование рельсов на железных дорогах Швеции / A. Frick, P.-O. Larsson-Kråik // Железные дороги мира. – 2007. – № 4. – С. 69-73. – ISSN 0321-1495.

34. **Матафонов, А. В.** Совершенствование организационной структуры производственного процесса рельсошлифования / А. В. Матафонов, Е. О. Юркова // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 2 (49). – С. 45-50. – ISSN 1815-9265.

35. **Бондарев, Э. С.** История развития технологии шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути / Э. С. Бондарев, А. С. Ильиных // Наука и молодежь СГУПСа в третьем тысячелетии : сборник научных статей аспирантов и

аспирантов-стажеров / под общей редакцией А. С. Петренко ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2021. – С. 19-25.

36. **Ильиных, А. С.** Становление, текущее состояние и перспективы развития рельсошлифования в России / А. С. Ильиных, Э. С. Бондарев // Борисовское чтения : материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / под общей редакцией Е. С. Воеводина ; Сибирский федеральный университет. – Красноярск, 2021. – С. 322-326.

37. **Бондарев, Э. С.** Анализ технологий шлифования рельсов за рубежом / Э. С. Бондарев // Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения : сборник трудов V Всероссийской конференции (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов / под общей редакцией А. Н. Ткачева, А. М. Ромодиной ; Южно-Уральский технологический университет. – Челябинск, 2021. – С. 13-21.

38. **Ильиных, А. С.** Отечественный и зарубежный опыт организации и планирования работ по шлифованию рельсов / А. С. Ильиных, Э. С. Бондарев // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. – 2021. – № 1 (2). С. 11-24. – DOI 10.52170/2712-9195/2021_2_11.

39. **Лысак, А. С.** Моделирование процесса шлифования рельсов пути / А. С. Лысак, В. Г. Рахчеев // Вестник Самарского государственного университета путей сообщения. – 2009. – № 6-2. – С. 146-153. – ISSN 2079-6099.

40. **Ильиных, А. С.** Влияние процесса шлифования на уровень эксплуатационных свойств рельсов / А. С. Ильиных // Научная жизнь. – 2009. – № 3. – С. 11. – ISSN 1991-9476.

41. Об утверждении Инструкции о порядке интеграции данных, получаемых системой комплекса СКБП-2009 в систему ЕКАСУИ: распоряжение ОАО «РЖД» от 28 декабря 2012 г. № 2734р. – Текст : электронный // Железнодорожные документы [Сайт]. – URL: <https://jd-doc.ru/2012/dekabr-2012/3973-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-28-12-2012-n-2734r> (дата обращения: 27.03.2022).

42. **Ефимов, А. А.** Единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой ОАО «РЖД» в части функциональности учета электроэнергии / А. А. Ефимов, Е. В. Чупак // Проблемы развития предприятий: теория и практика. – 2018. – № 3. – С. 21-24. – ISBN 978-5-94622-863-3.

43. **Коваленко, Н. И.** Применение системы ЕК АСУИ при планировании работ путевого хозяйства ОАО «РЖД» / Н. И. Коваленко, Д. Р. Суворова, И. В. Аноховская // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – № 1 (13). – С. 78-87. – ISSN 2587-5752.

44. **Коваленко, Н. И.** Планирование работ путевого хозяйства ОАО «РЖД» с использованием системы ЕК АСУИ / Н. И. Коваленко, И. В. Аноховская, Д. Р. Суворова // Научный журнал. – 2020. – № 1 (46). – С. 5-9. – ISSN 2413-7081.

45. **Васильев, А. А.** Планирование и контроль выполнения работ в путевом хозяйстве в системе ЕК АСУИ / А. А. Васильев // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 7. – С. 7-9. – ISSN 0131-5765.

46. **Асалханова, Т. Н.** Анализ планирования технологических процессов производства путевых работ железнодорожного транспорта в единой корпоративной автоматизированной системе управления инфраструктурой / Т. Н. Асалханова, А. А. Осколков // Современные технологии. системный анализ. моделирование. – 2021. – № 1 (69). – С. 141-148. – ISSN 1813-9108.

47. **Суслов, О. А.** Цифровые двойники-перспективная основа планирования технического обслуживания железнодорожного пути / О. А. Суслов, В. И. Федорова // Наука 1520 ВНИИЖТ: загляни за горизонт : сборник материалов научно-практической конференции АО «ВНИИЖТ» / под общей редакцией О. Н. Римской ; Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта– Москва, 2021. – С. 184-192.

48. **Асалханова, Т. Н.** Организация транспортного производства путевых работ с учетом информационного моделирования / Т. Н. Асалханова, А. А. Осколков // Транспорт Урала. – 2021. – № 3 (70). – С. 65-67. – ISSN 1815-9400.

49. **Коваленко, Н. А.** Об организации ремонтно-путевых работ на инфраструктуре московского железнодорожного узла в условиях интенсивного пассажирского движения / Н. А. Коваленко, В. С. Быков // Наука и технологии железных дорог. – 2022. – № 1 (21). – С. 62-68. – ISSN 2587-5752.

50. **Косенко, С. А.** Устройство железнодорожного пути и организация путевых работ : учебное пособие / С. А. Косенко, Л. И. Иванова, С. С. Акимов ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск : СГУПС, 2018. – 116 с. – ISBN 978-5-93461-968-9.

51. **Манаков, А. Л.** Повышение эффективности функционирования и организации работы путевых машинных комплексов на основе системы контроля качества выполняемых работ / А. Л. Манаков, А. Д. Абрамов, С. А. Бехер, С. А. Коларж // Вестник сибирского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 2 (45). – С. 5-10. – ISSN 1815-9265.

52. **Чеченова, Л. М.** Экономическая оценка и выбор оптимального варианта организации ремонтных работ путевой машины / Л. М. Чеченова, Е. В. Тюленева // Актуальные вопросы экономики транспорта высоких скоростей : сборник научных статей национальной научно-практической конференции / под общей редакцией Н. А. Журавлевой ; Институт независимых социально-экономических исследований. – Санкт-Петербург, 2020. – С. 290-296.

53. **Гринь, Е. Н.** Влияние эксплуатационных условий на организацию работ на закрытом перегоне / Е. Н. Гринь, Е. И. Галышева // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 11. – С. 20-22. – ISSN 0131-5765.

54. **Толмачев, В. Н.** Оперативное управление пропуском поездов на двухпутных участках в периоды проведения ремонтно-путевых работ : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Толмачев Вадим Николаевич ; Московский государственный университет путей сообщения, 2004. – 195 с. – Библиогр.: с. 175-118. – Текст : непосредственный.

55. **Певзнер, В. О.** Совершенствование системы управления техническим обслуживанием пути / В. О. Певзнер, Е. Н. Гринь // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 2. – С. 54-59. – ISSN 0044-4448.

56. **Матюгин, С. К.** Совершенствование организации технического обслуживания железнодорожного пути / С. К. Матюгин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 4. – С. 54-57. – ISSN 1818-5509.

57. **Голкина, В. А.** Совершенствование системы контроля состояния рельсов / В. А. Голкин, А. С. Ермишин // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2017. – № 1. – С. 76-80. – ISBN 978-5-904234-25-6.

58. **Гриб, В. М.** Современные подходы к развитию путевого хозяйства / В. М. Гриб, Н. В. Мамсиков, П. В., Ковтун, А. А. Альховская // Вестник белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2018. – № 2 (37). – С. 37-39. – ISSN 2227-1120.

59. **Российская Федерация. Правительство.** Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р. – Текст : электронный // Правительство России : [Сайт]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 27.03.2022).

60. Положение о системе неразрушающего контроля рельсов и эксплуатации средств рельсовой дефектоскопии в путевом хозяйстве железных дорог ОАО «РЖД»: распоряжение ОАО «РЖД» от 27 декабря 2012 г. № 2714р. – Текст : электронный // Трудовой десант [Сайт]. – URL: <https://www.tdesant.ru/info/item/44> (дата обращения: 27.03.2022).

61. Об утверждении Инструкции по применению старогодных материалов верхнего строения пути: распоряжение ОАО «РЖД» от 23 ноября 2016 г.

№ 2370р. – Текст : электронный // Трудовой десант [Сайт]. – URL: <https://www.tdesant.ru/info/item/269> (дата обращения: 27.03.2022).

62. **Суслов, О. А.** Перспективные подходы к прогнозному моделированию деградационных процессов элементов верхнего строения пути и их применение при создании цифровых двойников / О. А. Суслов, В. И. Федорова // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – № 5. – С. 251-259. – ISSN 2223-9731.

63. **Пулина, Н.** Как идет цифровая трансформация в ОАО «РЖД» / Н. Пулина, С. Шведов // Гудок : [сайт]. – 2021. – 25 янв. – URL: <http://gudok.ru/content/infrastructure/1550612/> (дата обращения: 26.01.2022).

64. **Москвичев, О. В.** Информационные технологии и информационно-управляющие системы на магистральном транспорте : учебное пособие / О. В. Москвичев ; Самарский государственный университет путей сообщения. – Самара : СамГУПС, 2015. – 287 с. – ISBN 978-5-98941-229-7.

65. **Глубоков, Н. Н.** Система «Электронное путевое хозяйство» / Н. Н. Глубоков, Е. В. Мироненко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 3. – С. 30-34. – ISSN 1818-5509.

66. **Ильиных, А. С.** Разработка подхода к созданию автоматизированной системы управления процессом рельсошлифования / А. С. Ильиных, Э. С. Бондарев // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 1 (53). – С. 46-56. – ISSN 2079-0392.

67. **Ильиных, А. С.** Повышение результативности производственного процесса шлифования рельсов / А. С. Ильиных, Э. С. Бондарев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 1. – С. 126-142. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_1_126.

68. **Ilinykh, A. S.** Planning work on railroad track maintenance based on dynamic programming / A. S. Ilinykh, E. S. Bondarev // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 61. – Pp. 699-707. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.01.110.

69. **Таха, Х. А.** Введение в исследование операций : монография / Х. А. Таха. – [7-е издание исправлено и дополнено] ; переведено с английского А. А. Минько. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.

70. Development of a dynamic programming model for optimizing production planning / O.O Olanrele, K. A. Olaiya, M. A. Aderonmu [et al.] // International journal of management technology. – 2014. – Vol. 2. – Pp. 12-17. – ISSN 2055-0855.

71. **Rafflesia, U.** Dynamic programming for an optimization of production plan / U. Rafflesia, F. H. Widodo, T. Angraini // Journal of physics conference series. – 2021. – Vol. 1731. – Pp. 55-61. – DOI 10.1088/1742-6596/1731/1/012032.

72. **Jianzhong, Y.** Application research of Markov in flight control system safety analysis / Y. Jianzhong, Z. Julian // Procedia engineering. – 2011. – Vol. 17. – Pp. 515-520. – DOI 10.1016/j.proeng.2011.10.062.

73. **Chadza, T.** Analysis of hidden Markov model learning algorithms for the detection and prediction of multi-stage network attacks / T. Chadza, K. Kyriakopoulos, S. Lambotharan // Future Generation Computer Systems. – 2020. – Vol. 108 (1). – Pp. 636-649. – DOI 10.1016/j.future.2020.03.014.

74. **Российская Федерация. Министерство транспорта.** О внесении изменений в правила технической эксплуатации железных. дорог : Приказ Минтранса РФ от 30.01.2018 № 36. – Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения 03.01.2022).

75. Бухгалтерская отчетность. – Текст : электронный // ОАО «Российские железные дороги» : официальный сайт. – 2022. URL: <https://www.tdrzd.ru/o-kompanii/for-investors/godovye-otchety-i-finansovaya-otchetnost/> (дата обращения 25.12.2021).

76. **СП 119.13330.2017.** Свод правил. Железные дороги колеи 1520 мм = Railway with 1520 mm track : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 12 декабря 2017 г. № 1648/пр : введен впервые :

дата введения 2018-06-13 / разработан ООО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства». – Москва : Стандартинформ, 2018. – 40 с.

77. **Охотников, А. Л.** Ресурсный подход к оценке технического состояния пути / А. Л. Охотников, Е. О. Новожилов // Наука и технологии железных дорог. – 2018. – № 3 (7). – С. 41-56. – ISSN 2587-5752.

78. **Краковский, Ю. М.** Необходимость мониторинга и прогнозирования бокового износа рельсов / Ю. М. Краковский, В. А. Начигин // Системы. Методы. Технологии. – 2009. – № 3 (3). – С. 37-40. – ISSN 2077-5415.

79. **Щепотин, Г. К.** Повышение точности прогнозирования отказов рельсов на основе самоорганизации / Г. К. Щепотин // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2 (53). – С. 5-11. – ISSN 1815-9265.

80. **Москвичев, О. В.** Информационные технологии и информационно-управляющие системы на магистральном транспорте : учебное пособие / О. В. Москвичев ; Самарский государственный университет путей сообщения. – Самара : СамГУПС, 2015. – 287 с. – ISBN 978-5-98941-229-7.

81. Комплексный подход к прогнозированию работоспособности и ресурса рельсов нового поколения / И. Г. Горячева, С. М. Захаров, А. Я. Коган [и др.] // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». – 2017. – № 5-6. – С. 16-26. – ISSN: 2304-9642

82. **Краковский, Ю. М.** Оценка технического состояния рельсов по данным мониторинга пути / Ю. М. Краковский, А. В. Начигин, В. А. Начигин // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2012. – № 5. – С. 40-43. – ISSN 2223-9731

83. **Щелоков, С. В.** Повышение эксплуатационных свойств рельсов в пути на основе разработки комбинированного технологического процесса шлифования с использованием высокоэнергетического воздействия : специальность 05.02.08 «Технология машиностроения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Щелоков Сергей Вячеславович ; Сибирский

государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2005. – 138 с. – Библиогр.: с. 115-130. – Текст : непосредственный.

84. **Коротаев, Б. В.** Износ термоупрочненных рельсов Р65 в сложных условиях эксплуатации Восточно-Сибирской железной дороги : специальность 05.22.06 «Железнодорожный путь» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Коротаев Борис Владимирович ; Иркутский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Иркутск, 1999. – 185 с. – Библиогр.: с. 167-180. – Текст : непосредственный.

85. **Турутин, Б. Б.** Совершенствование технологической системы обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств рельсов в пути : специальность 05.02.08 «Технология машиностроения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Турутин Борис Борисович ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск, 2003. – 133 с. – Библиогр.: с. 120-133. – Текст : непосредственный.

86. Эволюция повреждаемости рельсов с дефектами контактной усталости / Е. А. Шур, А. И. Борц, А. В. Сухов [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2015. – № 3. – С. 3-9. – ISSN 2223-9731.

87. **Коссов, В. С.** Влияние смятия в зоне сварных стыков на силовое воздействие подвижного состава на путь / В. С. Коссов, О. Г. Краснов, М. Г. Акашев // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – Т. 79. – № 1. – С. 9-16. – ISSN 2223-9731.

88. **Труханов, П. С.** Обоснование рациональных параметров жизненного цикла верхнего строения пути с оценкой его надежности в сложных эксплуатационных условиях : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических

наук / Труханов Павел Станиславович ; Сибирский государственный университет путей сообщения, 2018. – 137 с. – Библиогр.: с. 125-137. – Текст : непосредственный.

89. **Северова, М. О.** Экономическая оценка показателей эксплуатационной работы железной дороги и ее отделений в грузовом движении / М. О. Северова ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск : СГУПС, 2009. – 80 с. – ISBN 5-93461-420-7.

90. Экономическая оценка показателей эксплуатационной работы Западно-Сибирской железной дороги : справочник / В. Н. Шестаков, М. О. Северова, Т. А. Лунина [и др.] ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск : СГУПС, 2013. – 76 с. – ISBN 978-5-02-019136-5.

91. **Бахтина, Т. В.** МДК 04.01. Экономика, организация и планирование в путевом хозяйстве. ПМ 4 Участие в организации деятельности структурного подразделения : учебное пособие / Т. В. Бахтина ; Ростовский государственный университет путей сообщения. – Волгоград : ВТЖТ, 2017. – 94 с. – ISBN 978-5-98941-229-7.

92. **Шкурина, Л. В.** Экономика предприятий железнодорожного транспорта. планирование и анализ производственно-хозяйственной деятельности : учебное пособие : в 2 т. Т. 2 / Л. В. Шкурина, И. А. Костенец ; Российский университет транспорта. – Москва : МИИТ, 2016. – 566 с. – ISBN 978-5-9907334-2-8.

93. **Рубченко, Д. С.** Новый подход к планированию и формированию текущих затрат на ремонт объектов инфраструктуры на основе нормативного метода / Д. С. Рубченко // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – № 1. – С. 60-64. – ISSN 2223-9731.

94. **Костенец, И. А.** Экономика предприятий железнодорожного транспорта. планирование и анализ производственно-хозяйственной деятельности:

учебное пособие : в 2 т. Т. 1 / И. А. Костенец, Л. В. Шкурина ; Российский университет транспорта. – Москва : МИИТ, 2016. – 197 с. – ISBN 978-5-9907334-1-1.

95. **Пронина, Т. В.** Особенности классификации затрат на железнодорожном транспорте / Т. В. Пронина // *STUDIUM*. – 2009. – № 3 (12). – С. 6-7. – ISSN 1999-6322.

96. **Ефимова, Е. Н.** Современная методология разработки параметрических моделей определения себестоимости перевозок грузов для целей тарифообразования / Е. Н. Ефимова, П. Б. Маневич, А. В. Шмелев // *Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта*. – 2018. – № 4 (77). – С. 205-210. – DOI 10.21780/2223-9731-2018-77-4-205-210.

97. **Быкадоров, С. А.** Экономическая оценка организации путевых ремонтных работ на железнодорожном транспорте : монография / С. А. Быкадоров ; под общей редакцией П. В. Куренкова, О. В. Иванчиной ; Министерство транспорта Российской Федерации, Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Самарский государственный университет путей сообщения. – Самара : СамГУПС, 2007. – 115 с. : ил., табл. ; 20 см. – ISBN 978-5-98941-053-8.

98. **Иванчина, О. В.** Экономическая оценка организации путевых ремонтных работ 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 / Иванчина Ольга Викторовна ; Самарская государственная академия путей сообщения. – Москва, 2007. – 149 с. – Библиогр.: с. 128-137. – Текст : непосредственный.

99. Себестоимость железнодорожных перевозок : учебник для вузов железнодорожного транспорта / Н. Г. Смехова, А. И. Купоров, Ю. Н. Кожевников [и др.]. – Москва : Маршрут, 2003. – 494 с. – ISBN 5-89035-091-9.

100. **Российская Федерация. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства.** О включении в федеральный реестр сметных нормативов информации о федеральных единичных расценках и отдельных составляющих к ним : Приказ Минстроя и ЖКХ РФ от 26.12.2019 № 876/пр. – Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения 03.01.2022).

101. **Российская Федерация. Министерство транспорта.** Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : Приказ Минтранса РФ от 21.12.2010 № 286. – Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения 03.05.2021).

102. Об утверждении расходных ставок : распоряжение ОАО «РЖД» от 31 декабря 2020 г. № 3025/р. – Текст : электронный // Трудовой десант [Сайт]. – URL: <https://www.tdesant.ru/info/item/144> (дата обращения: 03.01.2022).

103. Об утверждении Инструкции о порядке предоставления и использования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ на железных дорогах ОАО «РЖД»: распоряжение ОАО «РЖД» от 25 декабря 2014 № 3154р. – Текст : электронный // ГОСТы и стандарты [Сайт]. – URL: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293764184> (дата обращения: 27.03.2022).

104. Об утверждении методики оценки ущерба от инцидентов, вызывающих нарушения графика движения поездов : распоряжение ОАО «РЖД» от 6 августа 2015 г. № 1998р. – Текст : электронный // ГОСТы и стандарты [Сайт]. – URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-06082015-n-1998r-ob-utverzhenii/> (дата обращения: 27.03.2022).

105. **ГОСТ Р 51685-2013.** Рельсы железнодорожные. Общие технические условия = Railway rails. General specifications : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 октября 2013 г. № 1155-ст : введен взамен ГОСТ Р 51685-2000 : дата введения 2014-07-01 / разработан ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», ОАО «Уральский институт

металлов», ФГУП «Научно-исследовательский институт мостов и дефектоскопии Федерального агентства железнодорожного транспорта» и др. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 101 с.

106. **ГОСТ Р 7.0.100–2018.** Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления = System of standards on information, librarianship and publishing. Bibliographic record. Bibliographic description. General requirements and rules : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 декабря 2018 г. № 1050-ст : введен впервые : дата введения 2019-07-01 / разработан ФГУП «Информационное телеграфное агентство России». – Москва : Стандартиформ, 2018. – 124 с.

107. **ГОСТ Р 7.0.11-2011.** Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления = System of standards on information, librarianship and publishing. Dissertation and dissertation abstract. Structure and rules of presentation : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. № 811-ст : введен впервые : дата введения 2012-09-01 / разработан ФГБУ «Российская государственная библиотека». – Москва : Стандартиформ, 2012. – 18 с.

108. **ГОСТ Р 7.0.5-2008.** Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления = System of standards on information, librarianship and publishing. Bibliographic reference. General requirements and rules of making : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 апреля 2008 г. № 95-ст : введен впервые : дата введения 2009-01-01 / разработан ФГУ «Российская книжная палата». – Москва : Стандартиформ, 2012. – 18 с.

109. **ГОСТ Р 7.0.12-2011.** Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила = System of standards on information, librarianship and publishing. Bibliographic record. Abbreviation of words and word combinations in Russian. General requirements and rules : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. № 813-ст : введен впервые : дата введения 2012-09-01 / разработан ФГБУН «Российская книжная палата». – Москва : Стандартинформ, 2012. – 28 с.

110. **ГОСТ Р 7.0.83-2013.** Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Электронные издания. Основные виды и выходные сведения = System of standards on information, librarianship and publishing. Electronic editions. Basic types and imprints : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 октября 2013 г. № 1163-ст : введен впервые : дата введения 2014-03-01 / разработан ФГУП НТЦ «Информрегистр» и ФГБУН «Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук». – Москва : Стандартинформ, 2014. – 19 с.

111. **ГОСТ 34.602-2020.** Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы = Information technology. Set of standards for automated systems. Technical assignment for developing of automated system : издание официальное : утвержден и введен в действие Протоколом Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации от 22 декабря 2020 г. № 58 : введен взамен ГОСТ 34.602-89 : дата введения 2022-01-01 / разработан АО «Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации» и ООО «Информационно-аналитический вычислительный центр». – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 9 с.

112. **Российская Федерация. Правительство.** О порядке присуждения ученых степеней : Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. – Текст : электронный // Официальный интернет портал правовой информации : [Сайт]. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102167993&rdk=&backlink=1> (дата обращения: 27.01.2022).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Техническое задание на разработку автоматизированной системы планирования работ по шлифованию рельсов и управления производственным процессом рельсошлифования



РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС)

Утверждаю:
Проректор по научной работе
СГУПС, д.т.н., профессор



А.Д. Абрамов

«30» марта 2022 г.

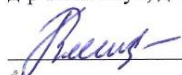
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ШЛИФОВАНИЮ РЕЛЬСОВ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ РЕЛЬСОШЛИФОВАНИЯ

Техническое задание

работа по теме
«Метод планирования работ рельсошлифовальных поездов»

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Технология
транспортного машиностроения
и эксплуатация машин»,
д-р техн. наук, доцент

 В.И. Кочергин

Руководитель разработки,
д-р техн. наук, доцент

 А.С. Ильиных

Разработчик, аспирант кафедры
«Технология транспортного
машиностроения и эксплуатация
машин»

 Э.С. Бондарев

Продолжение приложения А

2

Аннотация

В данном программном документе приведено техническое задание (ТЗ) на разработку автоматизированной системы планирования работ по шлифованию рельсов и управления производственным процессом рельсошлифования (далее по тексту – программа).

Разработка ТЗ произведена в соответствии с требованиями Единой системы программной документации (ЕСПД), с учетом следующих нормативных документов: ГОСТ 19.101-77¹, ГОСТ 19.103-77², ГОСТ 19.104-78*³, ГОСТ 19.105-78*⁴, ГОСТ 19.106-78*⁵, ГОСТ 19.201-78⁶, ГОСТ 19.604-78*⁷.

С учетом требований ЕСПД ТЗ содержит следующие разделы: введение, с указанием наименования, краткой характеристики области применения программы; основания для разработки программы, с указанием документов, на основании которых ведется разработка; назначение разработки, требования к программе, с указанием функциональных характеристик, требований к надежности, условий эксплуатации и др.; требования к программной документации; технико-экономические показатели; стадии и этапы разработки программы, а также порядок контроля и приемки работ.

Все разделы ТЗ составлены с учетом Инструкции по шлифовке и фрезерованию рельсов в пути и стационарных условиях⁸.

¹ ГОСТ 19.101-77 ЕСПД. Виды программ и программных документов.

² ГОСТ 19.103-77 ЕСПД. Обозначение программ и программных документов.

³ ГОСТ 19.104-78* ЕСПД. Основные надписи.

⁴ ГОСТ 19.105-78* ЕСПД. Общие требования к программным документам.

⁵ ГОСТ 19.106-78* ЕСПД. Общие требования к программным документам, выполненным печатным способом.

⁶ ГОСТ 19.201-78 ЕСПД. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.

⁷ ГОСТ 19.604-78* ЕСПД. Правила внесения изменений в программные документы, выполненные печатным способом.

⁸ Распоряжение ОАО «РЖД» №3185р от 29.12.2014 г. Об утверждении и введении в действие Инструкции по шлифовке и фрезерованию рельсов в пути и стационарных условиях.

Продолжение приложения А

3

Содержание

1. Введение.....	5
1.1. Наименование программы.....	5
1.2. Краткая характеристика области применения программы.....	5
2. Основание для разработки.....	6
2.1. Основание для проведения разработки.....	6
2.2. Наименование и условное обозначение темы разработки.....	6
3. Назначение разработки.....	7
3.1. Функциональное назначение программы.....	7
3.2. Эксплуатационное назначение программы.....	7
4. Требования к программе.....	8
4.1. Требования к функциональным характеристикам.....	8
4.1.1. Требования к составу выполняемых функций.....	8
4.1.2. Требования к организации входных данных.....	9
4.1.3. Требования к организации выходных данных.....	9
4.1.4. Требования к временным характеристикам.....	10
4.2. Требования к надежности.....	10
4.2.1. Требования к обеспечению надежного (устойчивого) функционирования программы.....	10
4.2.2. Время восстановления после отказа.....	11
4.2.3. Отказы из-за некорректных действий оператора.....	11
4.3. Условия эксплуатации.....	11
4.3.1. Климатические условия эксплуатации.....	11
4.3.2. Требования к видам обслуживания.....	12
4.3.3. Требования к численности и квалификации персонала.....	12
4.4. Требования к составу и параметрам технических средств.....	12
4.5. Требования к информационной и программной совместимости.....	13
4.5.1. Требования к информационным структурам и методам	

Продолжение приложения А

	4	
		решения.....13
4.5.2.		Требования к исходным кодам и языкам программирования...13
4.5.3.		Требования к программным средствам, используемым программой.....13
4.5.4.		Требования к защите информации и программ..... 14
4.6.		Специальные требования.....14
5.		Требования к программной документации.....15
5.1.		Предварительный состав программной документации.....15
5.2.		Специальные требования к программной документации.....15
6.		Технико-экономические показатели.....16
6.1.		Ориентировочная экономическая эффективность.....16
6.2.		Предполагаемая годовая потребность.....16
6.3.		Экономические преимущества разработки.....16
7.		Стадии и этапы разработки..... 17
7.1.		Стадии разработки.....17
7.2.		Этапы разработки.....17
7.3.		Содержание работ по этапам.....17
7.4.		Исполнители..... 18
8.		Порядок контроля и приемки.....19
8.1.		Виды испытаний.....19
8.2.		Общие требования к приемке работы..... 19

1. Введение

1.1. Наименование программы

Полное наименование – «Автоматизированная система планирования работ по шлифованию рельсов и управления производственным процессом рельсошлифования».

Сокращенное наименование – «АСПРШР и УППР».

1.2. Краткая характеристика области применения программы

Программа предназначена для планирования работ по шлифованию рельсов в условиях железнодорожного пути (ЖДП) в автоматизированном режиме с использованием рельсошлифовальных поездов (РШП) всех типов, а также управления производственным процессом рельсошлифования на сети российских железных дорог.

Продолжение приложения А

6

2. Основание для разработки**2.1. Основание для проведения разработки**

Разработка инициативная.

2.2. Наименование и условное обозначение темы разработки

Наименование темы разработки – «Метод планирования работ рельсошлифовальных поездов»

Условное обозначение темы разработки – МПРРШП.00001.

3. Назначение разработки

3.1. Функциональное назначение программы

Функциональное назначение программы определяется следующими задачами:

- расчет финансовых затрат компании на проведение шлифовальных операций;
- выбор эффективной стратегии шлифования рельсов;
- определение приоритетности шлифования рельсов в зависимости от вида и значения дефекта на основании классификатора дефектных и остродефектных рельсов;
- составление графика работ в автоматизированном режиме;
- цифровизация организационно-технологического процесса шлифования рельсов в условиях ЖДП.

3.2. Эксплуатационное назначение программы

Программа должна эксплуатироваться на основании расчетных данных программно-аппаратного комплекса оценки фактического состояния ЖПД с функцией прогнозирования развития дефектов в рельсах.

Конечным пользователем программы является ответственный представитель ПЧ (руководитель работ), который передает сформированное план-задание мастеру РПП (основание выполнение работ по шлифованию рельсов).

4. Требования к программе

4.1. Требования к функциональным характеристикам

4.1.1. Требования к составу выполняемых функций

Программа должна обеспечивать возможность выполнения следующих функций:

- расчет величин финансовых расходов компании при изменении степени важности дефектов, с учетом всех возможных текущих эксплуатационных, годовых и единовременных затрат;
- контроль за периодичностью шлифования на основе данных о наработке рельсов с формированием рекомендаций для корректировки адресного плана и плана производства работ;
- расчет комплексной оценки эффективности организационных и технологических решений, а также оптимизация необходимых мероприятий в производственном процессе рельсошлифования с учетом изменений провозной способности, грузонапряженности и скорости движения участков ЖДП;
- учет смешанного характера грузового, пассажирского и скоростного движений, планирование работ исходя из условий эксплуатации отдельных участков ЖДП с применением превентивного, корректирующего и ремонтного шлифования;
- назначение периодичности шлифования исходя из скорости возникновения и развития наиболее характерного дефекта на конкретном участке ЖДП и необходимости удаления всех возможных дефектов;
- достижение максимального экономического эффекта от шлифования рельсов за счет частого шлифования с наименьшим количеством проходов, а при необходимости больших съемов металла – совмещение работы двух и более РШП на перегоне.

Продолжение приложения А

9

Программа должна быть интегрирована с Единой корпоративной автоматизированной системой управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) в части получения входных данных и передачи выходных данных.

4.1.2. Требования к организации входных данных

Для реализации указанных функций программы, необходимы следующие входные данные для каждого типа дефекта:

- ПЧ;
- номер пути;
- протяженность участка шлифования, км;
- количество дефектных рельсов на участке ЖДП, шт.;
- «горизонт» эксплуатации ЖДП, млн. т бр.;
- удаленность ближайших РШП от места проведения работ, км.

Общими входными данными для всех типов дефектов будут являться:

- временной промежуток планирования работ, дн.;
- финансовые средства, выделяемые на устранение дефектов рельсов в рамках рассматриваемого периода времени (структурные подразделения работают по смете), руб.

В программе должна быть обеспечена возможность получения всех возможных данных из ЕК АСУИ для участков ЖДП, подлежащих шлифованию, в автоматическом режиме. Для недостающих данных должна быть обеспечена возможность ручного ввода информации.

4.1.3. Требования к организации выходных данных

После реализации функций программы в качестве выходных данных представляется план работ на рассматриваемый промежуток времени, который содержит следующую информацию:

- прогнозируемые финансовые расходы компании в зависимости от стратегии проведения работ;
- рекомендуемая стратегия проведения работ;

Продолжение приложения А

10

– очередность удаления дефектов, основанная на минимизации предстоящих финансовых расходов.

По окончании планирования работ по шлифованию рельсов в ЕК АСУИ должны быть переданы следующие выходные данные для участка ЖДП:

- дата проведения работ;
- перегон;
- номер пути;
- начало и конец участка ЖДП;
- количество проходов РПП;
- геометрические параметры отшлифованных рельсов на участке ЖДП для внутренней и наружной нитей;
- сведения о руководителе работ.

После выполнения работ результаты также должны быть занесены в ЕК АСУИ.

4.1.4. Требования к временным характеристикам

Требования к временным характеристикам программы не предъявляются.

4.2. Требования к надежности**4.2.1. Требования к обеспечению надежного (устойчивого) функционирования программы**

Надежное (устойчивое) функционирование программы должно быть обеспечено выполнением совокупности следующих организационно-технических мероприятий:

1. Организацией бесперебойного питания технических средств.
2. Регулярным выполнением рекомендаций Министерства труда и социального развития РФ, изложенных в Постановлении от 23 июля 1998 г. «Об утверждении межотраслевых типовых норм времени на работы по сервисному обслуживанию ПЭВМ и оргтехники и сопровождению программных средств».

3. Регулярным выполнением требований ГОСТ 51188-98. Защита информации. Испытания программных средств на наличие компьютерных вирусов.

4. Необходимым уровнем квалификации конечного пользователя.

4.2.2. Время восстановления после отказа

Время восстановления после отказа, вызванного сбоем электропитания технических средств (иными внешними факторами), не фатальным сбоем операционной системы, может превышать время, необходимое на перезагрузку операционной системы и запуск программы, при условии соблюдения условий эксплуатации технических и программных средств.

Время восстановления после отказа, вызванного неисправностью технических средств, фатальным сбоем операционной системы, может превышать время, требуемое на устранение неисправностей технических средств и переустановки программных средств.

4.2.3. Отказы из-за некорректных действий оператора

Отказы программы возможны вследствие некорректных действий оператора (пользователя) при взаимодействии с операционной системой. Во избежание возникновения отказов программы по указанной выше причине следует обеспечить работу конечного пользователя без предоставления ему административных привилегий.

4.3. Условия эксплуатации

4.3.1. Климатические условия эксплуатации

Климатические условия эксплуатации, при которых должны обеспечиваться заданные характеристики, должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к техническим средствам в части условий их эксплуатации.

Продолжение приложения А

12

4.3.2. Требования к видам обслуживания

См. требования к обеспечению надежного (устойчивого) функционирования программы (п.4.2.1).

4.3.3. Требования к численности и квалификации персонала

Минимальное количество персонала, требуемого для работы программы, должно составлять не менее 4 штатных единиц: программист (системный администратор), специалист дирекции инфраструктуры (ДИ), уполномоченный представитель службы пути центральной дирекции инфраструктуры (ЦП ЦДИ), конечный пользователь программы – оператор.

Программист должен иметь минимум среднее техническое образование и в перечень его задач должны входить:

- задача поддержания работоспособности технических средств;
- задачи установки и поддержания работоспособности системных программных средств – операционной системы;
- задача установки (инсталляции) программы.

Специалист ДИ должен иметь высшее техническое образование и выполнять задачи по составлению плана с использованием программы.

Уполномоченный представитель ЦП ЦДИ должен выполнять проверку разработанного плана и при необходимости указывать замечания и направлять документ на доработку.

Конечный пользователь программы (оператор) должен обладать практическими навыками работы с графическим пользовательским интерфейсом операционной системы.

Персонал должен быть аттестован минимум на II квалификационную группу по электробезопасности (для работы с конторским оборудованием).

4.4. Требования к составу и параметрам технических средств

В состав технических средств должен входить компьютер, включающий в себя:

Продолжение приложения А

13

- процессор Intel Core i5 или AMD Ryzen 5 и последующие модели;
- оперативная память 4 Гб (рекомендуется 8 Гб);
- жесткий диск или твердотельный накопитель 10 Гб (рекомендуется 40 Гб и выше);
- видеокарта, поддерживающая монитор с минимальным разрешением 1920x1080 точек.

Компьютер должны быть укомплектован мышью, клавиатурой и сетевыми шнурами.

Компьютер должен предоставляться для сертификации в той программно-аппаратной конфигурации, в которой он будет поставляться пользователю.

Вместе с компьютером должен поставляться комплект необходимых драйверов под соответствующие операционные системы.

Конфигурация компьютера должна соответствовать спецификации (Hardware Compatibility List) для используемых операционных систем.

4.5. Требования к информационной и программной совместимости

4.5.1. Требования к информационным структурам и методам решения

Требования к информационным структурам на входе и выходе не предъявляются.

4.5.2. Требования к исходным кодам и языкам программирования

Исходные коды программы должны быть реализованы на языке Python.

4.5.3. Требования к программным средствам, используемым программой

Системные программные средства, используемые программой, должны быть представлены локализованной версией операционной системы Windows 7.0 и выше.

Продолжение приложения А

14

4.5.4. Требования к защите информации и программ

Требования к защите информации и программ не предъявляются.

4.6. Специальные требования

Специальные требования к программе не предъявляются.

5. Требования к программной документации**5.1. Предварительный состав программной документации**

Состав программной документации должен включать в себя:

- ТЗ;
- программу-методику испытаний;
- исходный текст программы;
- рабочую документацию (описание программы и руководство оператора).

5.2. Специальные требования к программной документации

Специальные требования к программной документации не предъявляются.

6. Техничко-экономические показатели

6.1. Ориентировочная экономическая эффективность

Экономическая эффективность применения программы определяется своевременным шлифованием рельсов с учетом фактического состояния дефектов и недопущения «искусственного» износа. Данный подход позволит сэкономить до 15 % от текущих затрат из бюджета компании за счёт увеличения срока эксплуатации рельсов. Сумма экономии зависит от множества факторов: финансовые средства, выделяемые на устранение дефектов рельсов в рамках рассматриваемого периода времени, удаленность РШП от места проведения работ, разрозненность объектов планирования, регион эксплуатации РШП, срыв «окна» по причине нарушения технологических процессов, сбоев или нарушений в выполнении нормативных графиков движения поездов и пр.

6.2. Предполагаемая годовая потребность

Потребность программы определяется количеством процессов планирования работ и формированием план-заданий на выполнение работ.

6.3. Экономические преимущества разработки

Экономические преимущества программы определяются следующими аспектами:

- автономность и возможность использования без дополнительных информационных ресурсов;
- недопущение «искусственного» износа;
- предупреждение перехода рельса в категорию острodefектных рельсов;
- увеличение межремонтных сроков между капитальными ремонтами ЖДП;
- сокращение времени на разработку графика проведения работ.

7. Стадии и этапы разработки

7.1. Стадии разработки

Разработка программы должна быть проведена в три стадии:

1. Разработка ТЗ.
2. Рабочее проектирование.
3. Внедрение.

7.2. Этапы разработки

На стадии разработки ТЗ должны быть выполнены этапы разработки, согласования и утверждения настоящего ТЗ.

На стадии рабочего проектирования должны быть выполнены этапы разработки программы, разработки программной документации и испытания программы.

На стадии внедрения должен быть выполнен этап подготовки и передачи программы.

7.3. Содержание работ по этапам

На этапе разработки ТЗ должны быть выполнены следующие работы:

- постановка задачи;
- определение и уточнение требований к техническим средствам;
- определение требований к программе;
- определение стадий, этапов и сроков разработки программы и документации на неё;
- выбор языков программирования;
- согласование и утверждение ТЗ.

На этапе разработки программы должны быть выполнены работы по программированию и отладке программы, включающие:

- проектирование программного макета (формирование архитектуры создаваемой системы, анализ необходимости использования программных моду-

Продолжение приложения А

18

лей, проектирование основных элементов продукта – модели базы данных, процессов и кода, выбор среды программирования и инструментов разработки);

– разработка основного функционала с формированием программного кода (ранжирование дефектов, определение оптимальной стратегии планирования работ, расчет количества проходов, формирование плана работ);

– тестирование основного функционала;

– проектирование дизайна (утверждение интерфейса программы, включая элементы графического отображения данных);

– разработка графического интерфейса программы.

На этапе разработки программной документации должна быть выполнена разработка программных документов в соответствии с требованиями ГОСТ 19.101-77 и требованием п. 5.1 «Предварительный состав программной документации» настоящего ТЗ.

На этапе испытаний программы должны быть выполнены следующие виды работ:

– проведение приемо-сдаточных испытаний;

– корректировка программы и программной документации по результатам испытаний;

На этапе подготовки и передачи программы должна быть выполнена работа по подготовке и передаче программы и программной документации в эксплуатацию.

7.4. Исполнители

Разработчиком и исполнителем работ является ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения».

8. Порядок контроля и приемки

8.1. Виды испытаний

Приемо-сдаточные испытания программы должны проводиться согласно разработанной и согласованной «Программы и методики испытаний».

Ход проведения приемо-сдаточных испытаний документируется в протоколе проведения испытаний.

8.2. Общие требования к приемке работы

После проведения испытаний в полном объеме, на основании протокола испытаний, программа вводится в эксплуатацию с подписанием акта ввода программного обеспечения в эксплуатацию и передается заказчику с подписанием акта приема-передачи.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Техническое задание на разработку программно-аппаратного комплекса оценки фактического состояния железнодорожного пути с функцией прогнозирования развития дефектов в рельсах



РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС)



Утверждаю:
Проректор по научной работе
СГУПС, д.т.н., профессор

А.Д. Абрамов

«30» марта 2022 г.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С ФУНКЦИЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ В РЕЛЬСАХ


Техническое задание

работа по теме

«Метод планирования работ рельсошлифовальных поездов»

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Технология
транспортного машиностроения
и эксплуатация машин»,
д-р техн. наук, доцент

 В.И. Кочергин

Руководитель разработки,
д-р техн. наук, доцент

 А.С. Ильиных

Разработчик, аспирант кафедры
«Технология транспортного
машиностроения и эксплуатация
машин»

 Э.С. Бондарев

Новосибирск – 2022

Продолжение приложения Б

2

Аннотация

В данном программном документе приведено техническое задание (ТЗ) на разработку программно-аппаратного комплекса оценки фактического состояния железнодорожного пути (ЖДП) с функцией прогнозирования развития дефектов в рельсах (далее по тексту – программа).

Разработка ТЗ произведена в соответствии с требованиями Единой системы программной документации (ЕСПД), с учетом следующих нормативных документов: ГОСТ 19.101-77¹, ГОСТ 19.103-77², ГОСТ 19.104-78*³, ГОСТ 19.105-78*⁴, ГОСТ 19.106-78*⁵, ГОСТ 19.201-78⁶, ГОСТ 19.604-78*⁷.

С учетом требований ЕСПД ТЗ содержит следующие разделы: введение, с указанием наименования, краткой характеристики области применения программы; основания для разработки программы, с указанием документов, на основании которых ведется разработка; назначение разработки, требования к программе, с указанием функциональных характеристик, требований к надежности, условий эксплуатации и др.; требования к программной документации; технико-экономические показатели; стадии и этапы разработки программы, а также порядок контроля и приемки работ.

Все разделы ТЗ составлены с учетом Инструкции по шлифовке и фрезерованию рельсов в пути и стационарных условиях⁸.

¹ ГОСТ 19.101-77 ЕСПД. Виды программ и программных документов.

² ГОСТ 19.103-77 ЕСПД. Обозначение программ и программных документов.

³ ГОСТ 19.104-78* ЕСПД. Основные надписи.

⁴ ГОСТ 19.105-78* ЕСПД. Общие требования к программным документам.

⁵ ГОСТ 19.106-78* ЕСПД. Общие требования к программным документам, выполненным печатным способом.

⁶ ГОСТ 19.201-78 ЕСПД. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению.

⁷ ГОСТ 19.604-78* ЕСПД. Правила внесения изменений в программные документы, выполненные печатным способом.

⁸ Распоряжение ОАО «РЖД» №3185р от 29.12.2014 г. Об утверждении и введении в действие Инструкции по шлифовке и фрезерованию рельсов в пути и стационарных условиях.

Продолжение приложения Б

3

Содержание

1. Введение.....	5
1.1. Наименование программы.....	5
1.2. Краткая характеристика области применения программы.....	5
2. Основание для разработки.....	6
2.1. Основание для проведения разработки.....	6
2.2. Наименование и условное обозначение темы разработки.....	6
3. Назначение разработки.....	7
3.1. Функциональное назначение программы.....	7
3.2. Эксплуатационное назначение программы.....	7
4. Требования к программе.....	8
4.1. Требования к функциональным характеристикам.....	8
4.1.1. Требования к составу выполняемых функций.....	8
4.1.2. Требования к организации входных данных.....	8
4.1.3. Требования к организации выходных данных.....	9
4.1.4. Требования к временным характеристикам.....	9
4.2. Требования к надежности.....	9
4.2.1. Требования к обеспечению надежного (устойчивого) функционального назначения программы.....	9
4.2.2. Время восстановления после отказа.....	10
4.2.3. Отказы из-за некорректных действий оператора.....	10
4.3. Условия эксплуатации.....	10
4.3.1. Климатические условия эксплуатации.....	10
4.3.2. Требования к видам обслуживания.....	11
4.3.3. Требования к численности и квалификации персонала.....	11
4.4. Требования к составу и параметрам технических средств.....	11
4.5. Требования к информационной и программной совместимости.....	12
4.5.1. Требования к информационным структурам и методам	

Продолжение приложения Б

	4	
		решения.....12
4.5.2.		Требования к исходным кодам и языкам программирования...12
4.5.3.		Требования к программным средствам, используемым программой.....12
4.5.4.		Требования к защите информации и программ..... 12
4.6.		Специальные требования.....12
5.		Требования к программной документации.....13
5.1.		Предварительный состав программной документации.....13
5.2.		Специальные требования к программной документации.....13
6.		Технико-экономические показатели.....14
6.1.		Ориентировочная экономическая эффективность.....14
6.2.		Предполагаемая годовая потребность.....14
6.3.		Экономические преимущества разработки.....14
7.		Стадии и этапы разработки..... 15
7.1.		Стадии разработки.....15
7.2.		Этапы разработки.....15
7.3.		Содержание работ по этапам.....15
7.4.		Исполнители..... 16
8.		Порядок контроля и приемки.....17
8.1.		Виды испытаний.....17
8.2.		Общие требования к приемке работы..... 17

Продолжение приложения Б

5

1. Введение**1.1. Наименование программы**

Полное наименование – «Программно-аппаратный комплекс оценки фактического состояния железнодорожного пути с функцией прогнозирования развития дефектов в рельсах.».

Сокращенное наименование – «ПАКОФСЖДП».

1.2. Краткая характеристика области применения программы

Программа предназначена для оценки фактического и прогнозируемого состояний рельсов с целью их своевременного шлифования в условиях ЖДП путем применения рельсошлифовальных поездов (РШП) на сети российских железных дорог.

Продолжение приложения Б

6

2. Основание для разработки**2.1. Основание для проведения разработки**

Разработка инициативная.

2.2. Наименование и условное обозначение темы разработки

Наименование темы разработки – «Метод планирования работ рельсо-шлифовальных поездов»

Условное обозначение темы разработки – МПРРШП.00001.

3. Назначение разработки

3.1. Функциональное назначение программы

Функциональное назначение программы определяется прогнозированием технического состояния рельсов и цифровизацией технологического процесса шлифования рельсов в условиях ЖДП.

3.2. Эксплуатационное назначение программы

Программа должна эксплуатироваться на начальном этапе планирования работ по шлифованию рельсов в условиях ЖДП на основе результатов проведенных измерений центрами диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры (ДИЦДМ).

Конечным пользователем программы является специалист дирекции инфраструктуры (ДИ), который занимается разработкой план-графика шлифования рельсов в условиях ЖДП.

4. Требования к программе

4.1. Требования к функциональным характеристикам

4.1.1. Требования к составу выполняемых функций

Программа должна обеспечивать возможность выполнения следующих функций:

- определение вероятности изменения степени важности дефектов в зависимости от конструктивных особенностей ЖДП, продолжительности и условий его эксплуатации, а также реализуемой технологии шлифования рельсов;
- обобщение и систематизации данных о развитии дефектов в головке рельса, удаляемых шлифованием, для корректировки и поддержания в актуальном состоянии закономерностей развития дефектов рельсов в зависимости от условий эксплуатации, конструкции ЖДП и пропущенного тоннажа;
- определение скорости возникновения и развития наиболее характерного дефекта на конкретном участке ЖДП.

Программа должна быть интегрирована с Единой корпоративной автоматизированной системой управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) в части получения входных данных и передачи выходных данных.

Программа является важной составляющей в процессе эксплуатации автоматизированной системы планирования работ по шлифованию рельсов и управления производственным процессом рельсошлифования.

4.1.2. Требования к организации входных данных

Для реализации указанных функций программы, необходимы следующие входные данные для каждого типа дефекта:

- дата обнаружения;
- пропущенный тоннаж на момент обнаружения дефекта, млн. т бр.;
- категория ЖДП;
- план ЖДП;

Продолжение приложения Б

9

- уклон, ‰;
- код дефекта;
- фактическое значение дефекта рельса, мм;
- годовая грузонапряженность участка ЖДП, млн. т бр.

В программе должна быть обеспечена возможность получения всех возможных данных из ЕК АСУИ для участков ЖДП, подлежащих шлифованию, в автоматическом режиме.

4.1.3. Требования к организации выходных данных

После реализации функций программы в качестве выходных данных представляются вероятности перехода дефектности рельсов из одной СВ в другую или в категорию острodefектных рельсов. Расчетные данные должны быть мигрированы.

4.1.4. Требования к временным характеристикам

Требования к временным характеристикам программы не предъявляются.

4.2. Требования к надежности**4.2.1. Требования к обеспечению надежного (устойчивого)****функционирования программы**

Надежное (устойчивое) функционирование программы должно быть обеспечено выполнением совокупности следующих организационно-технических мероприятий:

1. Организацией бесперебойного питания технических средств.
2. Регулярным выполнением рекомендаций Министерства труда и социального развития РФ, изложенных в Постановлении от 23 июля 1998 г. «Об утверждении межотраслевых типовых норм времени на работы по сервисному обслуживанию ПЭВМ и оргтехники и сопровождению программных средств».

Продолжение приложения Б

10

3. Регулярным выполнением требований ГОСТ 51188-98. Защита информации. Испытания программных средств на наличие компьютерных вирусов.

4. Необходимым уровнем квалификации конечного пользователя.

4.2.2. Время восстановления после отказа

Время восстановления после отказа, вызванного сбоем электропитания технических средств (иными внешними факторами), не фатальным сбоем операционной системы, может превышать время, необходимое на перезагрузку операционной системы и запуск программы, при условии соблюдения условий эксплуатации технических и программных средств.

Время восстановления после отказа, вызванного неисправностью технических средств, фатальным сбоем операционной системы, может превышать время, требуемое на устранение неисправностей технических средств и переустановки программных средств.

4.2.3. Отказы из-за некорректных действий оператора

Отказы программы возможны вследствие некорректных действий оператора (пользователя) при взаимодействии с операционной системой. Во избежание возникновения отказов программы по указанной выше причине следует обеспечить работу конечного пользователя без предоставления ему административных привилегий.

4.3. Условия эксплуатации**4.3.1. Климатические условия эксплуатации**

Климатические условия эксплуатации, при которых должны обеспечиваться заданные характеристики, должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к техническим средствам в части условий их эксплуатации.

Продолжение приложения Б

11

4.3.2. Требования к видам обслуживания

См. требования к обеспечению надежного (устойчивого) функционирования программы (п.4.2.1).

4.3.3. Требования к численности и квалификации персонала

Минимальное количество персонала, требуемого для работы программы, должно составлять не менее 2 штатных единиц: программист (системный администратор) и конечный пользователь программы – оператор.

Программист должен иметь минимум среднее техническое образование и в перечень его задач должны входить:

- задача поддержания работоспособности технических средств;
- задачи установки и поддержания работоспособности системных программных средств – операционной системы;
- задача установки (инсталляции) программы.

Конечный пользователь программы (оператор) должен обладать практическими навыками работы с графическим пользовательским интерфейсом операционной системы.

Персонал должен быть аттестован минимум на II квалификационную группу по электробезопасности (для работы с конторским оборудованием).

4.4. Требования к составу и параметрам технических средств

В состав технических средств должен входить компьютер, включающий в себя:

- процессор Intel Core i5 или AMD Ryzen 5 и последующие модели;
- оперативная память 4 Гб (рекомендуется 8 Гб);
- жесткий диск или твердотельный накопитель 10 Гб (рекомендуется 40 Гб и выше);
- видеокарта, поддерживающая монитор с минимальным разрешением 1920x1080 точек.

Продолжение приложения Б

12

Компьютер должны быть укомплектован мышью, клавиатурой и сетевыми шнурами.

Компьютер должен предоставляться для сертификации в той программно-аппаратной конфигурации, в которой он будет поставляться пользователю.

Вместе с компьютером должен поставляться комплект необходимых драйверов под соответствующие операционные системы.

Конфигурация компьютера должна соответствовать спецификации (Hardware Compatibility List) для используемых операционных систем.

4.5. Требования к информационной и программной совместимости**4.5.1. Требования к информационным структурам и методам решения**

Требования к информационным структурам на входе и выходе не предъявляются.

4.5.2. Требования к исходным кодам и языкам программирования

Исходные коды программы должны быть реализованы на языке Python.

4.5.3. Требования к программным средствам, используемым программой

Системные программные средства, используемые программой, должны быть представлены локализованной версией операционной системы Windows 7.0 и выше.

4.5.4. Требования к защите информации и программ

Требования к защите информации и программ не предъявляются.

4.6. Специальные требования

Специальные требования к программе не предъявляются.

5. Требования к программной документации**5.1. Предварительный состав программной документации**

Состав программной документации должен включать в себя:

- ТЗ;
- программу-методику испытаний;
- исходный текст программы;
- рабочую документацию (описание программы и руководство оператора).

5.2. Специальные требования к программной документации

Специальные требования к программной документации не предъявляются.

6. Техничко-экономические показатели

6.1. Ориентировочная экономическая эффективность

Экономическая эффективность применения программы определяется возможность проведения своевременного шлифования рельсов с учетом фактического состояния дефектов и недопущения «искусственного» износа. Данный подход позволит сэкономить до 15 % от текущих затрат из бюджета компании за счёт увеличения срока эксплуатации рельсов. Сумма экономии зависит от множества факторов: финансовые средства, выделяемые на устранение дефектов рельсов в рамках рассматриваемого периода времени, удаленность РШП от места проведения работ, разрозненность объектов планирования, регион эксплуатации РШП, срыв «окна» по причине нарушения технологических процессов, сбоев или нарушений в выполнении нормативных графиков движения поездов и пр.

6.2. Предполагаемая годовая потребность

Потребность программы определяется количеством дефектных рельсов, выявленных посредством ДИЦДМ.

6.3. Экономические преимущества разработки

Экономические преимущества программы определяются следующими аспектами:

- автономность и возможность использования без дополнительных информационных ресурсов;
- недопущение «искусственного» износа;
- предупреждение перехода рельса в категорию острodefектных рельсов;
- увеличение межремонтных сроков между капитальными ремонтами ЖДП.

7. Стадии и этапы разработки

7.1. Стадии разработки

Разработка программы должна быть проведена в три стадии:

1. Разработка ТЗ.
2. Рабочее проектирование.
3. Внедрение.

7.2. Этапы разработки

На стадии разработки ТЗ должны быть выполнены этапы разработки, согласования и утверждения настоящего ТЗ.

На стадии рабочего проектирования должны быть выполнены этапы разработки программы, разработки программной документации и испытания программы.

На стадии внедрения должен быть выполнен этап подготовки и передачи программы.

7.3. Содержание работ по этапам

На этапе разработки ТЗ должны быть выполнены следующие работы:

- постановка задачи;
- определение и уточнение требований к техническим средствам;
- определение требований к программе;
- определение стадий, этапов и сроков разработки программы и документации на неё;
- выбор языков программирования;
- согласование и утверждение ТЗ.

На этапе разработки программы должны быть выполнены работы по программированию и отладке программы, включающие:

- проектирование программного макета (формирование архитектуры создаваемой системы, анализ необходимости использования программных моду-

Продолжение приложения Б

16

лей, проектирование основных элементов продукта – модели базы данных, процессов и кода, выбор среды программирования и инструментов разработки);

- разработка основного функционала с формированием программного кода (построение матриц переходных вероятностей);

- тестирование основного функционала;

- проектирование дизайна (утверждение интерфейса программы, включая элементы графического отображения данных);

- разработка графического интерфейса программы.

На этапе разработки программной документации должна быть выполнена разработка программных документов в соответствии с требованиями ГОСТ 19.101-77 и требованием п. 5.1 «Предварительный состав программной документации» настоящего ТЗ.

На этапе испытаний программы должны быть выполнены следующие виды работ:

- проведение приемо-сдаточных испытаний;

- корректировка программы и программной документации по результатам испытаний;

На этапе подготовки и передачи программы должна быть выполнена работа по подготовке и передаче программы и программной документации в эксплуатацию.

7.4. Исполнители

Разработчиком и исполнителем работ является ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения».

8. Порядок контроля и приемки

8.1. Виды испытаний

Приемо-сдаточные испытания программы должны проводиться согласно разработанной и согласованной «Программы и методики испытаний».

Ход проведения приемо-сдаточных испытаний документируется в протоколе проведения испытаний.

8.2. Общие требования к приемке работы

После проведения испытаний в полном объеме, на основании протокола испытаний, программа вводится в эксплуатацию с подписанием акта ввода программного обеспечения в эксплуатацию и передается заказчику с подписанием акта приема-передачи.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Награды

Объединенный ученый
совет ОАО «РЖД»



ДИПЛОМ

*Десятый Всероссийский конкурс научных работ
среди студентов и аспирантов по транспортной проблематике
«Цифровые технологии – инструмент опережающего развития
железнодорожного транспорта»*

НАГРАЖДАЕТСЯ

Бондарев Эдуард Сергеевич,

занявший II место

В номинации

*«Повышение эффективности и надежности эксплуатации инфраструктуры и
подвижного состава с использованием цифровых технологий»,*

за подготовку научно-исследовательского проекта на тему:
**«Повышение эффективности функционирования производственного
процесса шлифования рельсов с использованием
цифровых технологий»**

Научный руководитель: Ильиных А. С.

Председатель Объединенного
ученого совета ОАО «РЖД»,
д.э.н., профессор

Б.М. Лapidус

Москва, 2022

Продолжение приложения В

ЛУЧШАЯ ПУБЛИКАЦИЯ
ПО ТЕМАТИКЕ ЖУРНАЛА



ДИПЛОМ

III МЕСТО

НАГРАЖДАЕТСЯ

Бондарев Эдуард Сергеевич

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
университет путей сообщения»

за конкурсную работу

«Инновации в процессе планирования
шлифования рельсов в условиях
железнодорожного пути»

9.12.2021

Генеральный директор
А. С. ЖУЖУКАЛО

Handwritten signature of the General Director, A. S. Zhuzhukalo.

Главный редактор
А. С. РЕТЮНИН

Handwritten signature of the Chief Editor, A. S. Retiunin.