

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС)

На правах рукописи



Севостьянов Александр Александрович

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА СОДЕРЖАНИЯ
РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ ПО ОСНОВНЫМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ
ПАРАМЕТРАМ В СЛОЖНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ**

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
кандидат технических наук, доцент
Д. В. Величко

Новосибирск, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ	11
1.1 Нормативная литература в части содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам.....	11
1.2 Отечественные и зарубежные исследования в области состояния геометрии рельсовой колеи.....	19
1.3 Техническое состояние железнодорожного пути в сложных климатических и эксплуатационных условиях.....	26
1.4 Исследования в области организации производственного процесса содержания геометрии рельсовой колеи	33
Выводы по главе.....	44
2 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СОСТОЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ	47
2.1 Влияние климатических условий	47
2.2 Влияние кривых участков пути и типа рельсового скрепления.....	54
2.3 Влияние повышенной осевой нагрузки	62
Выводы по главе.....	70
3 МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПЛАНИРОВАНИЮ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА СОДЕРЖАНИЯ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ.....	73
3.1 Закономерности развития отступлений по геометрии рельсовой колеи .	74
3.1.1 Физическая модель изменения состояния геометрии рельсовой колеи.....	74
3.1.2 Прогнозирование состояния геометрии рельсовой колеи	80

3.1.3 Влияние изменений в оценке состояния геометрии рельсовой колеи на характер планирования работ	84
3.2 Управление процессом содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам	87
3.3 Моделирование организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине	93
3.3.1 Математическая модель организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине	93
3.3.2 Моделирование организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи на примере участка Среднесибирского хода	98
3.4 Минимизация трудовых ресурсов на содержание рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам в зимний период	104
Выводы по главе	111
4 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫПРАВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ МАШИНЫМ КОМПЛЕКСОМ	113
4.1 Влияние планово-предупредительных работ на состояние геометрии рельсовой колеи	113
4.2 Имитационное моделирование организации выправки пути машинным комплексом	120
4.3 Техничко-экономическое обоснование выбора варианта организации работ по выправке пути машинным комплексом	130
Выводы по главе	142
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	146
ПРИЛОЖЕНИЕ А	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Основная задача текущего содержания железнодорожного пути заключается в обеспечении безопасного и бесперебойного движения поездов с установленными скоростями, на что прямое влияние оказывает состояние геометрии рельсовой колеи (ГРК). Согласно принципу дифференциации производственный процесс содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам разделяется на ряд отдельных технологических работ и операций по текущему содержанию и технологический процесс планово-предупредительной выправки пути (ППВ).

Научно-техническое развитие холдинга «РЖД» на период до 2025 года и с перспективой до 2030 предусматривает существенное расширение полигона тяжеловесного движения на дорогах Сибири. Повышение грузонапряженности и интенсивности движения поездов снижает доступное время на техническое обслуживание железнодорожного пути. При этом наблюдается повышенная дефектность элементов верхнего строения пути и рост отказов технических средств, что увеличивает трудоемкость работ по текущему содержанию. Работы по регулировке ширины колеи и выправке пути в плане и профиле занимают существенную долю от общих трудозатрат (в среднем свыше 40 %). Организация работ по своевременному устранению выявленных неисправностей обеспечивает безопасность движения, а выполнение планово-предупредительных работ по регулировке основных параметров ГРК сокращают вероятность появления данных неисправностей.

Анализ нормативной документации показал, что планирование и организация производственного процесса содержания рельсовой колеи формируется на основе плановых объемов работ без детальной проработки конкретных условий эксплуатации, а сроки выполнения работ регламентируются лишь степенью влияния каждого отступления от нормативных параметров. Действующая методика планирования и организации текущего содержания не предусматривает средств поддержки принятия решений в распределении трудовых ресурсов (производственного персонала линейного участка).

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования методов и средств организации и планирования производственного процесса содержания рельсовой колеи в сложных климатических и эксплуатационных условиях. Рост деформативности пути и характер климатических условий приводят к повышению общей трудоемкости работ на особогрузонапряженных участках железнодорожного пути, из-за чего происходит увеличение объема невыполненных планово-предупредительных работ по обеспечению нормативных значений геометрии рельсовой колеи. Высокая интенсивность движения поездов создает ограничения по продолжительности «окна» на выполнение ППВ, поэтому возникает необходимость определения наиболее эффективного варианта организации работ.

Гипотеза исследования. Повышение эффективности содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам, достигаемое планированием и организацией текущего содержания с использованием средств поддержки принятия решений, базирующихся на методах математического моделирования организации и планирования производственного процесса содержания рельсовой колеи с учетом сложных климатических и эксплуатационных условий, снижает расстройство железнодорожного пути и обеспечивает безопасное и бесперебойное движение поездов.

Степень разработанности темы исследования. Научные положения диссертации формировались на основе исследований российских и зарубежных ученых, а также ведущих научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений: ВНИИЖТа, НИИАСа, РУТ (МИИТа), ПГУПСа, СГУПСа, РГУПСа, ИрГУПСа, ДВГУПСа. Вопросом содержания рельсовой колеи активно занимались А. Н. Акашов, Г. Л. Аккерман, В. П. Бельтюков, Г. П. Бредюк, М. Ф. Вериги, Э. В. Воробьев, А. К. Гавриленко, Б. И. Гончаров, Е. Н. Гринь, А. А. Еремушкин, В. М. Ермаков, В. Б. Каменский, Н. И. Карпущенко, К. В. Клементьев, З. Л. Крейнис, Н. И. Коваленко, Д. А. Ковенькин, Н. П. Кондаков, Р. И. Корн, И. Б. Лехно, В. С. Лысюк, В. И. Новакович, И. А. Симонюк, В. И. Тихомиров, В. О. Певзнер, О. А. Суслов, В. П. Сычев, Г. М. Шахунянц,

В. Я. Шульга, Г. К. Щепотин, В. В. Щербаков, А. Ahmadi, Н. Baluch, E. Berggren, J. Chiachio, Н. Guler, Н. Khajehei, J. Sadeghi, M.J. Shenton, I. Soleimanmeigouni, U. Martin, P. Weston и другие. Однако существующие исследования не в полной мере раскрывают вопрос организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам. В зарубежных исследованиях имеются существенные различия в характере проведения работ и уровне механизации подразделений, отвечающих за содержание рельсовой колеи. В настоящее время возникла необходимость дополнить эти исследования методикой и средствами планирования и организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам в сложных климатических и эксплуатационных условиях.

Объект исследования – производственный процесс содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам в сложных условиях эксплуатации.

Предмет исследования – планирование и организация производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам.

Цель исследования – совершенствование организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам на основе дополнения методики планирования работ по текущему содержанию и повышения эффективности организации выправочных работ машинными комплексами в сложных эксплуатационных и климатических условиях для обеспечения нормативного состояния геометрии рельсовой колеи.

Для достижения цели исследования поставлены следующие **задачи**:

1. Выполнить исследования по оценке влияния сложных эксплуатационных и климатических условий на состояние ГРК на особогрузонапряженных участках железнодорожного пути.

2. Разработать и обосновать методический подход к планированию и организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам.

3. Провести моделирование организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине.

4. Разработать имитационную модель организации выправки железнодорожного пути машинным комплексом для повышения эффективности ППВ.

Область диссертационного исследования соответствует пунктам 4 и 11 паспорта специальности 05.02.22:

Моделирование и оптимизация организационных структур и **производственных процессов**, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов.

Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами.

Методология и методы исследования. В ходе исследования применялись общие методы научного познания: анализ и синтез, формализация, математическое моделирование, графоаналитический метод, планирование экспериментов, математическая статистика в части обработки первичной информации, полученные прямыми измерениями и анализом материалов из технических отделов служб пути Западно-Сибирской и Красноярской дирекций инфраструктуры.

Научная новизна работы:

1. Выявлено влияние неравномерной осадки подшпального основания и типа рельсового скрепления на состояние ГРК особогрузонапряженных участков железнодорожного пути в сложных эксплуатационных и климатических условиях.

2. Предложен методический подход к планированию и организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам.

3. Разработана математическая модель организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине.

4. Разработана имитационная модель организации выправки железнодорожного пути машинным комплексом на основе определения наиболее

эффективного варианта организации работ с учетом ограничения по продолжительности «окна».

Теоретическая и практическая значимость работы:

Результаты исследования дополняют теорию планирования и организации технического обслуживания железнодорожного пути в сложных климатических и эксплуатационных условиях.

Практическое применение разработанной методики позволит повысить качество текущего содержания рельсовой колеи и обеспечить безопасность движения поездов в сложных эксплуатационных и климатических условиях за счет обоснованного распределения трудовых ресурсов на основе моделирования организации работ по регулировке ширины колеи и выправке пути в плане и профиле.

Использование имитационной модели организации выправки пути машинным комплексом позволит выявлять наиболее эффективный вариант проведения ППВ, снижая затраты от задержек поездов по причине проведения технологического «окна», а также осуществлять рациональное распределение машинных комплексов на полигоне дорог.

Полученные результаты исследования позволяют расширить научно-методическую базу технического обслуживания железнодорожного пути и способствовать выполнению перспективных задач по развитию железнодорожного транспорта в России.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты оценки влияния сложных климатических и эксплуатационных условий на состояние ГРК особогрузонапряженных участков железнодорожного пути;
- методика планирования и организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам;
- математическая модель организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине на основе определения технологически необходимых трудозатрат;

– имитационная модель организации выправки железнодорожного пути машинным комплексом в рамках технологического процесса ППВ.

Степень достоверности результатов исследований. Достоверность результатов работы обеспечена применением теоретических основ и объективных методов научного исследования, широко распространенных в транспортной отрасли. Анализ и моделирование технологических процессов основаны на реальных исходных данных, полученных из служб пути Западно-Сибирской и Красноярской дирекций инфраструктуры, а результаты расчетов имеют высокую степень сходимости с реальными эксплуатационными показателями.

Апробация основных результатов диссертационного исследования была выполнена на следующих конференциях:

– V Международная научно-практическая конференция «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса» (г. Донецк, ДАТ, май 2019 г.);

– Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России» (г. Ростов-на-Дону, РГУПС, октябрь 2019 г.);

– XI Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы» (г. Новосибирск, ноябрь 2020 г.);

– Международная научно-практическая конференция «Системы обеспечения и эксплуатации Транспорта» (г. Нижний Новгород, филиал СамГУПС, апрель 2020 г.);

– VII Международная научно-техническая конференция «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса» (г. Донецк, ДАТ, май 2021 г.);

– XII Международная научно-практическая конференция «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (г. Иркутск, ИрГУПС, октябрь 2021 г.).

Публикации и структура диссертации. По теме исследования опубликовано девять научных работ, в том числе три публикации в ведущих научных рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки

России, и одна – в издании, индексируемом международной базой данных Scopus. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы из 141 наименования. Общий объем работы составляет 161 страницу машинописного текста, включая 57 рисунков, 25 таблиц.

1 ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ

1.1 Нормативная литература в части содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам

Под ГРК понимаются параметры, характеризующие положение рельсовых нитей в профиле, плане, по уровню и ширине колеи согласно Распоряжению ОАО «РЖД» №436/р [34], которое в настоящий момент является определяющим в оценке состояния ГРК. В ходе оценки состояния пути средствами диагностики выявляются отклонения геометрических параметров рельсовой колеи от номинальных значений – отступлений. Состояние ГРК имеет прямое влияние на безопасность движения поездов, вертикальные неровности рельсовой колеи увеличивают динамическую нагрузку на верхнее строение пути, в то время как неровности в горизонтальной плоскости являются угрозой для стабильности железнодорожного пути, что особенно характерно для бесстыкового пути.

В большинстве стран мира параметры и характеристики состояния ГРК, получаемые путеизмерительными вагонами, используются для обеспечения безопасности и плавности движения поездов, принятия решений о сроках проведения работ, контроля качества выполненных ремонтов, оценки качества работы подразделений путевого хозяйства [58].

Своевременная оценка состояния ГРК является основополагающей составляющей при техническом обслуживании железнодорожного пути. Первоначально диагностике подвергались только неровности в профиле, путеизмерительная система Н. Е. Долгова позволяла определять общее количество неисправностей на участке диагностики, в дальнейшем Т. И. Ляшенко улучшил конструкцию данной системы, которая позволяла оценивать отдельные неисправности и в последующем присуждать ей штрафной балл. С 1936 года система оценки состояния рельсовой колеи включала в себя градацию отступлений по 4 степеням в зависимости от величины и количества присвоенных штрафных баллов. В дальнейшем, данная система имела ряд изменений в

граничных значениях величин отступлений и допускаемых скоростей. Позже, внедрение путеизмерительных вагонов на базе ЦНИИ-2 позволило контролировать отступление рельсовой колеи в плане (рихтовка).

В настоящее время при оценке состояния ГРК контролируются такие основные параметры как ширина колеи, положение рельсовых нитей по уровню, в плане и их просадка в вертикальной плоскости, а также сочетание отступлений в плане и профиле. Помимо этого дополнительный контроль осуществляется над параметрами устройства кривых в плане и по возвышению наружного рельса, в том числе соответствие проектным характеристикам, длинными неровностями пути в плане и профиле, боковым износом рельсов, величинами стыковых зазоров, деформативными характеристиками пути. В данной работе рассматриваются именно основные параметры ГРК, так как на них приходится преобладающая доля объема по содержанию рельсовой колеи независимо от сезона эксплуатации.

С введением в действие Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи [34] в 2021 году было пересмотрено распределение отдельных величин отступлений по степеням, а также упразднением отдельных сочетаний отступлений, требующих ограничения скорости движения грузовых поездов, имеющих в своем составе порожние вагоны (прж). Вместе с этим были введены допустимые величины просадок в изолирующих стыках. Также изменена градация отступлений по 4 степеням в зависимости от величины (амплитуды) [34]. В случае отступлений I степени, принято считать, что данные отклонения находятся в допуске на содержание и не требуют устранения при текущем содержании. Отступления II степени устраняются в плановом порядке. Отступления III степени должны устраняться в 3-х суточных срок. За отступления IV степени принимаются неисправности, требующие ограничение скорости движения поездов, по причине угрозы безопасности движения и должны устраняться незамедлительно. Результатом оценки состояния ГРК путеизмерительным вагоном является начисление балловой оценки отступлений в зависимости от величины (амплитуды) и длины, после чего определяется

количественная и качественная оценка для каждого километра. Любая неисправность по параметрам ГРК, приводящая к ограничению скорости дает 100 баллов, за неисправности по дополнительным параметрам, требующие ограничения скорости начисляется 50 баллов. Качественная оценка километров определяется в соответствии с их балловой оценкой как сумма баллов за каждое отступление. Аналогично осуществляется присвоение баллов для прочих отступлений и неисправностей по ГРК. В зависимости от суммы баллов на километре формируется его количественная и качественная оценка. Оценка состояния пути для линейных участков (ЛУ) производится согласно средней оценке состояния каждого километра на всем участке. После чего, формируется качественная оценка участка (дистанции в целом).

Методика расчета задания балловой оценке состояния рельсовой колеи основывается на базовой балловой оценке, которая равна средней балловой оценке по Дирекции инфраструктуры (ДИ) за последние 3 года, а также на учете поправочных коэффициентов, учитывающих особенности эксплуатации, укомплектованность штата работников и наличия работы путевых машин.

К эксплуатационным особенностям относятся: грузонапряженность, пропущенный тоннаж, скорость движения и тип подвижного состава, план и профиль линии. Все поправочные коэффициенты (всего 12 шт.) сводятся к одному средневзвешенному коэффициенту K_y (формула 1.1):

$$K_y = \frac{1}{n} \sum_{n=12}^{i=1} K_i \quad (1.1)$$

где n – количество поправочных коэффициентов;

K_i – поправочных коэффициент i -го условия.

Из приведенных в [34] поправочных коэффициентов необходимо отметить коэффициент учета пропущенного тоннажа, который определяется по таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Коэффициент учета пропущенного тоннажа на участке

Пропущенный тоннаж, млн. т	50-150	151-300	301-450	451-600	601-750	751 и более
Увеличивающий коэффициент	1,05	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

Согласно данной таблице, коэффициент, учитывающий пропущенный тоннаж, изменяется линейно и остается неизменным после пропуска тоннажа свыше 751 млн. т, что некорректно для участков, где капитальный ремонт проводится после пропуска тоннажа 900 – 1100 млн. т.

Также отмечается, что после проведения капитального или среднего ремонта на участке величина балловой оценки не должна превышать 8 баллов в течение 12 месяцев, а после проведения подъемочного ремонта либо планово-предупредительной выправки – 15 баллов в течение 6 месяцев.

Также в Инструкции [34] и Единой методики расшифровки измерений [27] введен комплексный статистический показатель – СССП для оценки границ скорости, при превышении которой существующие неровности оказывают влияние на рост расстройств пути. Для определения СССП определяется по величинам скользящий среднеквадратичных отклонений (СКО) отступлений в профиле (просадок, перекосов, уровня), вселяющийся на пикете последовательно, с шагом 20 м.

К неотложным работам в части ГРК относятся устранение неисправностей (отступлений IV степени), приравненных к ним, а также сочетание отступлений, которые несут угрозу безопасности движения поездов. К первоочередным работам относятся отступления III степени, III близкой к IV, а также отступления, которые можно рассматривать как предотказное состояние. Устранение отступлений второй степени проводится в плановом порядке бригадами по планово-предупредительным или по неотложным работам.

Планово-предупредительные работы направлены на предупреждение развития и появления неисправностей по ГРК. Планирование данных работ проводится заблаговременно, и выполняются сплошную на всем участке с отступлениями. Данные работы могут выполняться как бригадами из монтеров пути с использованием ручного инструмента, так и с применением машинного комплекса.

Планово-предупредительная выправка (ППВ), производится с целью восстановления равноупругости подшпального основания, а также уменьшения

степени нервномерности отступлений по ГРК. Основные критерии ее назначения зависят от количества отступлений по уровню, перекосам, просадкам и в плане.

В апреле 2022 года вступили в действие Правила назначения ремонтов железнодорожного пути [85], согласно которым назначение ППВ на особогрузонапряженных участках осуществляется по критериям, представленным в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Критерии назначения выбора особогрузонапряженных участков, подлежащих ППВ

Критерии	Значение критерия по классам пути		
	1	2	3
Основные критерии			
Количество отступлений II степени* в расчете на месяц в среднем за 3 последних месяца, шт./км	20	20	-
Дополнительные критерии			
Количество негодных шпал, %	10	10	15
Количество негодных узлов скреплений, %	10	10	15
Загрязненность балласта, %	не более 10		
При снижении показателя СССП на км/ч	5	5	7
Критерии УРРАН			
Индекс предотказов	более 0,18	более 0,18	более 0,30

*Примечание: * По показаниям путеизмерительного вагона без учета отступлений по ширине колеи;*

СССП – комплексный статистический показатель, характеризующий состояние ГРК на основе величин СКО параметров пути.

УРРАН – по методологии управления рисками, ресурсами на всех этапах жизненного цикла на основе анализа надежности технических средств.

Также в правилах [85] приведены схемы выполнения ремонтов и ППВ железнодорожного пути, для особогрузонапряженных участков в настоящий момент существует две ремонтные схемы, в зависимости от нормативной периодичности выполнения капитального ремонта 1 и 2 уровня. В случае периодичности 900 млн. т бр. для железнодорожного пути на железобетонных шпалах ремонтная схема выглядит следующим образом (формула 1.2):

$$\text{КРН-В-С-В-КРН}, \quad (1.2)$$

где КРН – капитальный ремонт 1 уровня;

В – планово-предупредительная выправка;

С – средний ремонт.

В случае периодичности 1400 млн. т бр. (формула 1.3):

$$КРН-В-В-РС(РП)-В-П-КРН, \quad (1.3)$$

где РС – сплошная смена рельсов в объеме среднего ремонта;

РП – сплошная смена рельсов в объеме подъемочного ремонта;

П – подъемочный ремонт.

Особенность планирования работ по текущему содержанию заключается в динамичном непрерывном характере воздействия на путь различных факторов, которые нужно учитывать. На основании генеральных осмотров формируется годовой план работ, где обозначены объемы работ в соответствии с технологически обоснованной потребностью, в том числе и планы по планово-предупредительной выправке пути машинными комплексами. На основании утвержденного годового плана работ, результатов оценки средствами диагностики, комиссионного месячного осмотра, и прочих осмотров формируется месячный план объема работ с учетом сезонных видов работ. После формируется форма недельного плана, на основании работ, принятых при месячном планировании, а также плановых трудозатрат, которые определяются исходя из результатов оценки пути диагностическими средствами, осмотров и промеров пути. Организация работ осуществляется на основе оперативного (суточного) плана, который формируется начальниками эксплуатационных участков дистанции пути (ПЧУ) и дорожными мастерами линейных участков (ПД) согласно недельным планам работ и выявленным неисправностям, которые привели к ограничению скорости движения или закрытию пути. В случае выявления неисправностей, угрожающих движению поездов, производится корректировка плана работ в оперативном порядке.

В ходе планирования работ по содержанию рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам, необходимо учитывать объемы работ, заложенные как в годовом плане работ, так и в месячном, и недельном. Помимо этого стоит учитывать возможность появления внезапно возникших неисправностей, требующих оперативного устранения, вследствие чего необходима корректировка плана работ, как суточного, так и в последствие недельного.

Основные объемы работ, связанные с ГРК, формируются на основании оценки состояния пути путеизмерительными вагонами (диагностическими комплексами), которые проводят оценку состояния ГРК по принятому графику работ. В месяц на каждый главный путь приходится 2 оценки, в начале месяца рабочая, ближе к концу месяца контрольная. Инициаторами календарного плана, на основании объемов работ, полученных в результате натуральных осмотров и оценки диагностических средств, выступают заместитель начальника дистанции пути, начальник эксплуатационного участка и непосредственно мастер линейного участка, в свою очередь исполнителями работ являются бригады по неотложным и планово-предупредительным работам под руководством бригадира.

Таким образом, выполнение плана работ напрямую зависит от принятых решений дорожного мастера и бригадира пути без какой-либо системы поддержки принятия решений и обоснования, что вносит высокую долю субъективного решения на конечный результат. Помимо этого из средств планирования работ по текущему содержанию существуют только матрицы объемов работ, график выполнения объемов работ по форме ПУ-74, Единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) и программный комплекс «Расчет предотказного состояния рельсовой колеи» (ПГРК УРРАН). Первые два отвечают за документальную отчетность о распределении трудозатрат, третье предназначено для формирования объемов работ и назначения сроков их устранения, а методика УРРАН отвечает за предиктивный анализ состояния пути.

План планово-предупредительных работ и ППВ на будущий год формируется в соответствии с технологически обоснованной потребностью в системе ЕК АСУИ до 1 июля текущего года по результатам генерального весеннего осмотра с учетом результатов оценки диагностическими средствами. На основе потребности участков железнодорожного пути в ППВ формируются адресные планы выполнения выправки пути машинными комплексами на уровне службы пути, дирекций по ремонту пути и путевым машинам. Организация ППВ

осуществляется на основе календарного плана, наличия выправочных машин в парке и объемов работ, выраженного длиной участка выправки.

Планирование и организация путевых работ осуществляется на основе нормативных документов ОАО «РЖД». В Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» № 2288/р [35] обозначены основные положения по организации и планированию работ по текущему содержанию, а также технические условия и нормативы содержания пути и его элементов, в том числе и рельсовой колеи. Положение об организации комплексного обслуживания объектов инфраструктуры хозяйства пути и сооружений, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» № 2675/р [81] определяет общие принципы планирования и организации работ по текущему содержанию железнодорожного пути. Состав и регламент работ обозначен в Правилах и технологиях выполнения основных работ при текущем содержании пути [84]. Документом регламентирующим оценку состояния ГРК, а также сроки устранения выявленных отступлений является Инструкция, утвержденная распоряжением №436/р [34]. Тем не менее, данные документы не содержат подробной методики планирования и организации работ по содержанию рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам. В таком случае эффективность принятого решения, а соответственно и качество выполнения работ во многом зависит от опыта руководителя (ПД), что часто приводит к нерациональному распределению трудовых ресурсов на линейном участке. В свою очередь организация процесса выправки пути машинным комплексом в рамках ППВ осуществляется на основе величины фронта работ и фактического наличия выправочных машин в парке, что приводит к снижению эффективности выправочных работ на отдельных участках. Ограничения со стороны службы движения в виде строго ограниченной продолжительности «окна» приводит к необходимости повышения выработки в рамках заданного времени. Из чего вытекает вопрос повышения эффективности работы машинного комплекса при выполнении выправочных работ в «окно».

1.2 Отечественные и зарубежные исследования в области состояния геометрии рельсовой колеи

Исследованиям закономерностей зарождения и развития отступлений ГРК посвящено значительное количество работ таких ученых как: А. Н. Акашов, Э. В. Воробьев, А. К. Гавриленко, В. М. Ермаков, В. Б. Каменский, Н. И. Карпущенко, Р. И. Корн, И. Б. Лехно, В. С. Лысюк, В. И. Новакович, В. И. Тихомиров, В. О. Певзнер, В. Я. Шульга, Г. К. Щепотин, А. Ahmadi, H. Baluch, E. Berggren, H. Guler, H. Khajehei, I. Soleimanmeigouni, U. Martin, P. Weston и другие.

В 2004 г. В. Б. Каменский сформулировал основные направления исследований в области методов оценки состояния пути и прогноза развития неисправностей:

- анализ амплитуд отклонений;
- анализ среднеквадратических отклонений, скользящие СКО;
- спектральный анализ;
- оценка по динамическим характеристикам взаимодействия железнодорожного пути и подвижного состава;
- корреляционный анализ;
- использование математических моделей [37].

Использование того или иного метода дает возможность углубить исследование в части зарождения и развития отступления, выявления дополнительных параметров, влияющих на интенсивность расстройств пути, что важно для планирования и организации работ по их устранению и предупреждению неисправностей при текущем содержании железнодорожного пути.

Каждый вид отступления может развиваться по своему собственному закону, в зависимости от условий эксплуатации. В случае отступлений по ширине колеи немаловажным фактором являются план линии, тип промежуточного рельсового скрепления (ПРС), а также осевые нагрузки и грузонапряженность.

Н. И. Карпущенко представил результаты исследования регрессионного анализа параметров рельсовой колеи, в частности эмпирические параметры для прогнозирования уширения рельсовой колеи (таблица 1.3) в зависимости от средневзвешенного радиуса кривых (R_{cp}), осевой нагрузки (вертикальной силы P_{cp}) и пропущенного тоннажа (T) [43].

Таблица 1.3 – Эмпирическая зависимость развития уширения колеи

Вид эмпирической зависимости	Эмпирические параметры			
	α	β	γ	δ
$S = \alpha + \gamma T \left(\frac{400}{R_{cp}} \right)^\beta \cdot \left(\frac{P_{cp}}{150} \right)^\delta$	1525	0,9	0,16	0,7

Также Н. И. Карпущенко подчеркнул тесную корреляционную связь между боковым износом, радиусом кривой и непогашенным ускорением, в то время как зависимость между боковым износом и шириной колеи менее стабильна по причине периодических регулировок ширины колеи [433].

В. О. Певзнер в своих работах отразил результаты экспериментальных исследований по оценке состояния ширины колеи. Ширина колеи представлена аппроксимированными кусочно-линейной функциями, зависящими от пропущенного тоннажа, типа ПРС и радиуса кривой. Указано, что ширина колеи после промежуточной смены рельсов по износу во многом зависит от технологии производства работ и количества заменяемых элементов ПРС [70, 76]. К. В. Клементьев занимался исследованием параметров неровности рельсовых нитей в плане и ширины колеи [60], в результате были получены значения допустимых отводов неровностей в плане, с точки зрения безопасности движения поездов по условию предельного значения коэффициента запаса устойчивости от вкатывания колеса на рельс.

Отступления в плане (рихтовка) часто является следствием высоких горизонтальных сил и недостаточного сопротивления рельсошпальной решетки сдвигу. Результаты исследования Н. В. Поляничко [83] показали, что сопротивление шпалы продольной и поперечной сдвиге напрямую зависит от степени уплотнения балласта в шпальных ящиках, с увеличением плотности

балластного слоя растёт сопротивление шпалы сдвигу. Я. М. Ермолов изучил вопрос увеличения бокового сопротивления шпал сдвигу за счет укрепления плеча балластной призмы полимерными вяжущими. Отмечено, что формирование геокомпозита с использованием полимерного вяжущего приводит к росту силы сопротивления сдвигу шпалы в 2,7 раза [59].

Вопрос деформации подшпального основания особо актуален для отступлений в профиле, известно, что величина нагрузки, передающийся с колес подвижного состава на путь, а также состояние балластной призмы и основной площадки являются определяющими в развитии данных отступлений. Повышение осевых нагрузок и увеличение веса поездов является актуальным направлением развития железнодорожного транспорта России [106].

Большой вклад в исследования воздействия на железнодорожный путь грузовых вагонов с повышенной осевой нагрузкой внес В. О. Певзнер. В своей работе [68] В. О. Певзнер провел анализ опыта зарубежных коллег в области эксплуатации железнодорожного пути в условиях тяжеловесного движения. Зарубежный опыт по увеличению осевых нагрузок до 25-30 т/ось показывает, что с увеличением осевых нагрузок компоненты железнодорожного пути становятся чувствительней к неравномерности нагрузки, связанной с геометрией пути, а также увеличиваются расходы на текущее содержание и снижаются сроки службы рельсов и балластной призмы. Также отмечается ухудшение общего состояния верхнего строения пути. Исследования В. О. Певзнера указали на то, что повышение осевой нагрузки свыше 270 кН приводит к более интенсивному износу промежуточных скреплении и к росту напряжений в балласте под шпалой и на основной площадке земляного полотна, а в дальнейшем, к росту интенсивности осадок и расстройств пути [71]. В. О. Певзнер с соавторами произвели расчеты, которые показали, что при увеличении осевой нагрузки до 30 т/ось необходимость в частоте проведения планово-предупредительной выправки увеличивается на 25–40 %, в зависимости от характеристик основания. Помимо этого, при расчетах верхнего строения пути принимается, что все шпалы исправны, равномерно подбиты и при воздействии дают одну и ту же осадку, но в

действительности это недостижимо. Причиной неоднородности подбитых шпал могут служить, как и недостатки в выправке, так и атмосферное влияние.

В своих исследованиях Д. С. Алтынников и Д. А. Ковенькин подчеркнули повышенную вероятность появления отступлений в профиле на подходах к мостам вследствие переменной жесткости подшпального основания. При переходе подвижного состава с безбалластного основания моста на балластный путь возникают повышенный уровень вибродинамического воздействия, причиной является динамический удар, который вызывает вибрации, вследствие которых происходит расстройство пути [5], выраженных просадками и перекосами.

Г. М. Стоянович указал, что повторяемость приложенной малой нагрузки способствует деформациям в большей степени, чем разовое приложение большей нагрузки [104]. М. М. Железнов выявил, что большая интенсивность движения поездов в сочетании с другими отрицательными факторами (повышенная влажность грунтов, высокие скорости движения, повышенные осевые нагрузки) может быть источником возникновения и развития недопустимых деформаций железнодорожного пути [32].

Г. К. Щепотин в своих работах [116, 80] уделил немало внимания влиянию сезонных деформациям подшпального основания на эксплуатационную надежность пути в условиях Урала и Сибири. Сезонные деформации, которые возникают в результате морозного пучения, нарушают состояние продольного профиля пути из-за неравномерности осадки при оттаивании распученных грунтов.

В ходе исследований остаточных деформаций пути была разработана методика прогноза появления при эксплуатации недопустимых (по нормам) деформаций пути. Расчеты на модели, построенной на основе предложенной методики, показали, что в климатических условиях Сибири в весенний период число проверок состояния рельсовой колеи путеизмерительным вагоном следует назначить не менее трех раз в месяц, по причине того, что даже при небольших величинах пучения существует вероятность неравномерных деформаций пути (в

том числе недопустимых). Также была приведена градация месяцев в году для климатических условий Сибири. Так период замерзшего состояния подшпального основания и отрицательных температур воздуха и грунтов включает в себя месяцы с декабря по март. Период оттаивания, когда происходит резкое увеличение осадок пути из-за оседания распученных грунтов земляного полотна, происходит в апреле и мае. А наиболее благоприятный период года с июня по ноябрь, характеризующийся наименьшей интенсивностью накопления остаточных деформаций подшпального основания [116].

При оценке влияния состояния балластной призмы на развитие отступлений в профиле неотъемлемым вопросом встает ее загрязненность. Зона локального выплеска является местом резкого изменения жесткости подшпального основания. Разделяют «сухие» и «влажные» выплески, загрязнение балласта приводит к потере дренирующих свойств, в результате чего, в теле балласта задерживается вода. Влияние выплесков на взаимодействие железнодорожного пути и подвижного состава исследовались научным коллективом под руководством В. С. Коссова, в работах [50, 51]. Экспериментальные исследования выявили, что наличие загрязненного балласта (выплесков) способствует развитию отступлений в профиле, и при повышении осевых нагрузок интенсивность расстройств будет неизменно расти в этих местах.

Среди зарубежных исследователей J. Chiachio с соавторами [120] предлагает сдвиг парадигмы в области моделирования неисправностей по геометрии рельсовой колеи железнодорожного пути и его технического обслуживания. Разработанная ими математическая модель поведения подшпального основания с использованием статистических данных об отступлениях и скрытой Марковской модели (СММ) позволили разработать алгоритмы и провести моделирование развития неисправностей. Предложенный алгоритм прогнозирования дает вероятностные оценки остаточного ресурса по ГРК.

В Германии результаты оценки состояния ГРК принимают как общий показатель состояния пути, который складывается из суммы выявленных отступлений

в плане, профиле и по ширине колеи, помноженные на соответствующие весовые коэффициенты. Подобная методика оценки состояния ГРК присутствует во многих странах [121, 125, 134], с учетом некоторых различий. Например, в Польше отступления по просадкам не учитываются отдельно, а фиксируются как отступления по уровню рельсовых нитей. В зарубежных странах широко применяется использование статистических параметров пути, наиболее распространенным из которых является среднеквадратические отклонения (СКО). Данный параметр применяется как мера неровности, характеризующая разброс измеряемых величин отдельных отступлений. В Индии СКО применяется для оценки качества проведенного ремонта на участке.

Среди отечественных ученых в части исследований СКО отступлений внесли В. М. Ермаков и А. Н. Акашов [30]. Исследования зависимости влияния роста отступлений II степени от пропущенного тоннажа позволили сформировать алгоритм оценки интенсивности изменения скользящего среднеквадратического отклонения (ССКО) отступлений в профиле. Помимо этого была предложена методика выявления нестабильных участков пути и прогноза роста отступлений с использованием ССКО и программы «StabWay» [49]. Дальнейшие исследования [28] позволили сделать вывод, что весьма значимым фактором на увеличение положительных приращений просадок (ППСКО) является степень обводненности балластной призмы и земляного полотна в весенний и осенний период, что требует устройства эффективных водоотводов. Также отмечается, что такие параметры как СКО отступлений и их ППСКО являются показателями расстройств пути, их зависимость от различных факторов может показать влияние этих самых факторов на общие затраты в части текущего обслуживания железнодорожного пути..

В работе [131] U. Martin указывает причины ухудшения состояния локального участка пути. Так повышенные осевые нагрузки в долгосрочной перспективе могут привести к избыточным нагрузкам, которые способствуют расстройству подшпального основания. По причине некачественного выполнения работ по текущему содержанию пути значительно увеличивается количество

деформаций, в том числе повторных. В работе [135] отмечается, что появление повторных отступлений и неисправностей может быть связано не только с некачественным выполнением работ по их устранению, но и низким качеством работ при строительстве, либо капитальном ремонте железнодорожного пути. Мировой опыт [118] демонстрирует эффективность проведения работ по текущему содержанию, используя данные постоянного мониторинга, что позволяет воздействовать на состояние железнодорожного пути, применяя информацию о состоянии геометрии рельсовой колеи, полученные путеизмерительными средствами.

В работе [140] Р. Weston с соавторами провел обзор зарубежных технологий и средств, обеспечивающих мониторинг состояния ГРК. Отмечается, что в Великобритании и в других странах мира существуют полностью автоматизированные системы диагностики пути, которые способны получать большое количество данных. Тем ни менее эти данные используются лишь для отчетов о состоянии ГРК и оценки развития величин отступлений относительно пороговых значений. Отмечается, что использование большого объема данных за обширный срок позволяет строить более точные модели деградации состояния ГРК, для улучшения планирования технического обслуживания. Вместе с тем, необходимо осуществлять интеграцию информации о мероприятиях по техническому обслуживанию в процесс обработки данных для оценки эффективности проведенных работ. Зарубежными авторами отмечается, что эксплуатация с высокими осевыми нагрузками требует ужесточения допусков содержания рельсовой колеи, во избежание значительных расстройств и увеличения динамического воздействия подвижного на железнодорожный путь.

Анализ отечественных и зарубежных исследований показал, что современные методы и средства диагностики позволяют оценивать влияние различных параметров на развитие отступлений, а математический аппарат и программные комплексы позволяют осуществлять прогноз дальнейшего развития отступлений по ГРК в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

1.3 Техническое состояние железнодорожного пути в сложных климатических и эксплуатационных условиях

Согласно Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути [36] к сложным эксплуатационным условиям относятся участки пути 1 и 2 классов особогрузонапряженных линий и с тяжеловесным грузовым движением. Особенностью этих участков является повышенное воздействие на бесстыковой путь сил от грузовых поездов, наиболее резко проявляющееся в кривых радиусами 250–650 м. В свою очередь к сложным климатическим условиям относятся участки пути с годовыми амплитудами температуры рельсов более 110°С в регионах Севера, Сибири и Дальнего Востока. Особенности этих регионов являются длительное стояние температур, близких к экстремальным значениям, большие суточные перепады температуры рельсов, достигающие в районах Севера 35–40°С, а в районах Сибири и Дальнего Востока 40–55°С и даже 60°С, а также большая продолжительность зимнего периода эксплуатации бесстыкового пути, достигающая 6-7 месяцев [36].

На участках Западно-Сибирской и Красноярской железных дорог имеют место как эксплуатационные, так и климатические сложные условия. Грузовые перевозки на железнодорожном транспорте в Сибири всегда отличались повышенной интенсивностью. Основным видом грузов для Западно-Сибирской железной дороги является каменный уголь, согласно Российскому статистическому ежегоднику [90], треть от общего количества погрузки железнодорожным транспортом приходится именно на уголь. Логично, что основная доля перевозимого угля, сосредоточенного преимущественно в Кузнецком бассейне (Кузбасс), проходит по участкам Транссибирской магистрали, в частности по Среднесибирскому ходу. Для повышения грузооборота и пропускной способности активно ведется развитие тяжеловесного движения как за счет увеличения количества вагонов в составе, так и за счет инновационных вагонов с повышенной осевой нагрузкой.

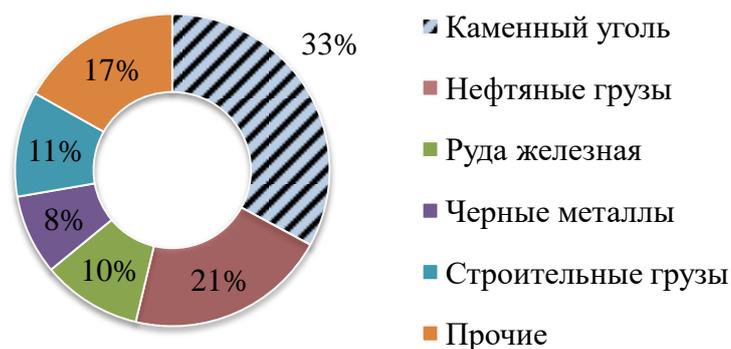


Рисунок 1.1 – Процентное соотношение погрузки отдельных грузов железнодорожным транспортом (по состоянию на 2020 год)

Наравне с этим, остро стоит вопрос повышения межремонтного срока службы железнодорожного пути [74, 78, 14, 16]. Новые нормы периодичности и схемы выполнения ремонтов железнодорожного пути особогрузонапряженной группы регламентируют межремонтный срок до 1400 млн. т бр. В условиях роста грузонапряженности и увеличения объемов тяжеловесного движения дальнейшее повышение межремонтного срока (до 2–2,1 млрд. т бр.) требует комплексного подхода, особенно для сложных эксплуатационных и климатических условий [9]. Наличие сложного плана и профиля железнодорожных линий приводят к дополнительным сложностям в содержании пути, а высокие амплитуды колебания температур оказывают значительное влияние на характер работы бесстыкового пути [13, 103, 105]. Помимо этого, климатические условия добавляют трудностей как в зимний период (высокая снегозаносимость), так и в весенний. В период таяния балласта наблюдается неравномерная осадка подшпального основания [116], что приводит к повышенной интенсивности отступлений по ГРК, а значит и к угрозе безопасности движения. Активная модернизация Восточного полигона вместе с повышением грузонапряженности и интенсивности движения поездов однозначно ставит сложную задачу перед работниками структурных подразделений службы пути в части технического обслуживания железнодорожного пути. Нарастание доли поездов с повышенной осевой нагрузкой [101] и увеличение грузонапряженности сказывается на интенсивности отказов технических средств железнодорожного пути на особогрузонапряженных участках (рисунок 1.2).

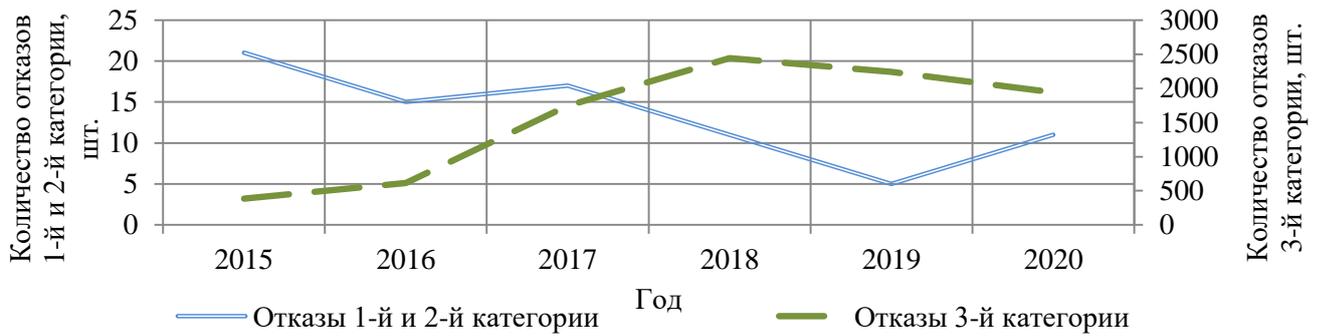


Рисунок 1.2 – График отказов технических средств железнодорожного пути 1-й, 2-й и 3-й категории на участках Среднесибирского хода

С внедрением обращения поездов с инновационными вагонами, где осевая нагрузка превышает 235 кН, на участках Среднесибирского хода (направление Иртышская-Среднесибирская) происходило нарастание отказов 3-й категории. Любой отказ требует незамедлительного устранения, так как приводит к задержке поездов (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Задержки поездов вследствие отказов 3-й категории

С учетом того, что на данном участке грузонапряженность превышает 130 млн. т км брутто/км в год, логично, что при такой интенсивности движения отказ задерживает не только проходящий состав, но и часть последующих за ним [118]. Помимо потери от невыполнения эксплуатационной скорости отказ приводит к незапланированным потерям в части трудозатрат на их устранение.

Таким образом, высокий уровень отказов прямым образом влияет на выполнение плановых работ, которые в свою очередь должны обеспечивать безопасное движение поездов с установленными скоростями. Если рассматривать основные причины отказов (рисунок 1.4), то в общем количестве преобладают

отказы по содержанию рельсовой колеи, одной из наиболее частых причин является ограничение скоростей вследствие неисправности ГРК.

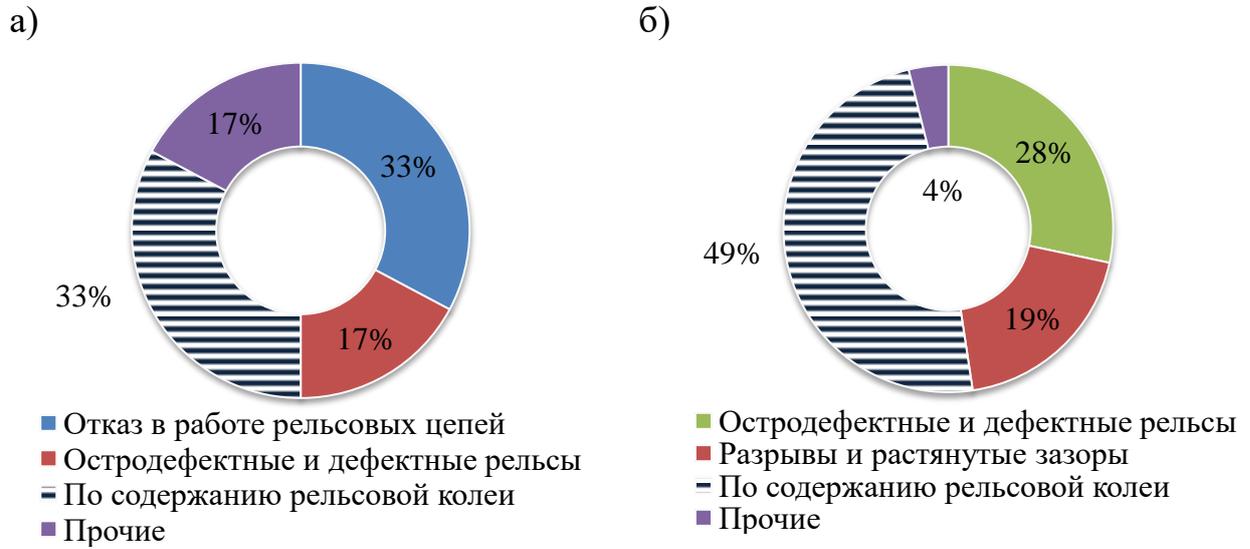


Рисунок 1.4 – Процентное соотношение причин отказов технических средств: а) 1-й и 2-й категории; б) 3-й категории

Из анализа распределения основных причин отказов по годам видно, что в случае отказов 1-й и 2-й категории после 2018 года основной причиной является именно содержание рельсовой колеи (рисунок 1.5).

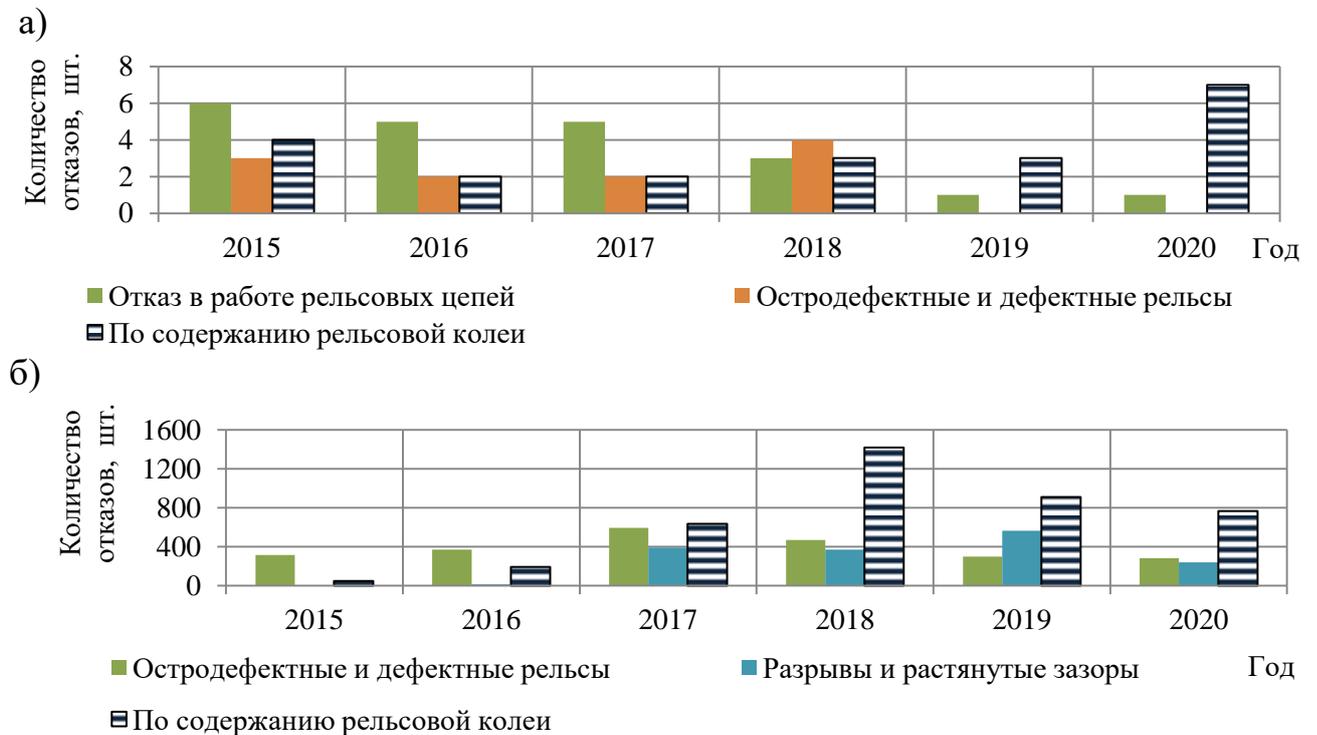


Рисунок 1.5 – Распределение основных причин отказов технических средств: а) 1-й и 2-й категории; б) 3-й категории

В случае 3-й категории вместе с отказами по содержанию рельсовой колеи существенная доля приходится на дефектность рельсов и следствие их замены (разрывы и растянутые зазоры). С увеличением дефектных рельсов (замененных) прямо пропорционально растет количество стыков (мест временного восстановления). Статистика показывает, что ежегодный прирост мест временного восстановления в разы превышает количество мест окончательного восстановления, соответственно растут и затраты на контроль и содержание стыковых зазоров. При значительных высоких температурах и наличии просадки в стыке появляется возможность образования угла в плане (рихтовки), что также относится к отступлению ГРК.

Таким образом, повышенная дефектность рельсов несет за собой не только увеличение потерь вследствие задержки поездов и затрат на замену рельсов (как трудовых, так и материальных), но является дополнительным условием повышения расстройств ГРК.

Как пример на рисунке 1.6 представлен фрагмент диаграммы обработки результатов прохода путеизмерительного вагона, где отчетливо видно, что наличие места временного восстановления (стык, образованный после замены дефектного рельса) привело к развитию просадки величиной 11 мм, а также к образованию перекаса.

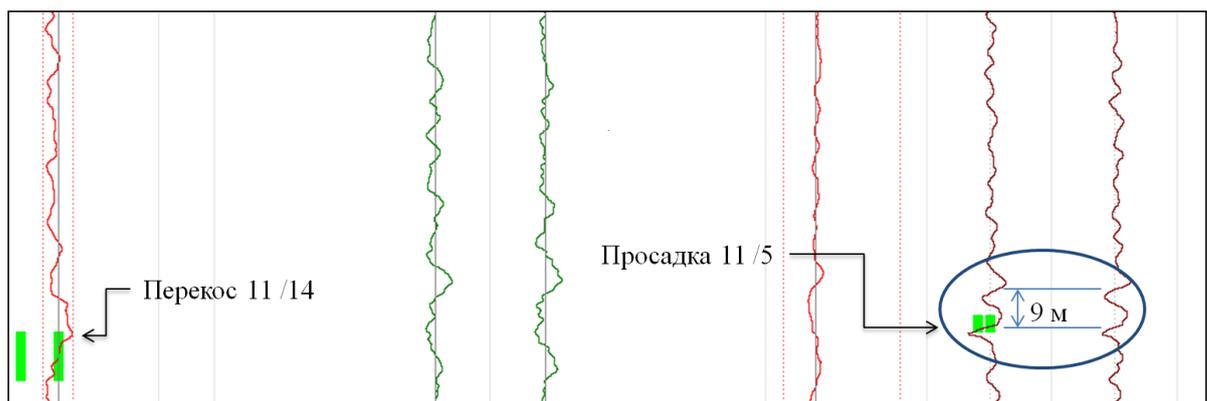


Рисунок 1.6 – Влияние места временного восстановления на состояние ГРК

В 2017 году в рельсовом хозяйстве Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры (ЗСиб ДИ) произошло увеличение количества замененных дефектных рельсов в 1,5 раза по сравнению с 2016 годом.

Стоит отметить, что на направление Иртышская-Среднесибирская приходится практически четверть от всех дефектных рельсов по ЗСиб ДИ (рисунок 1.7).

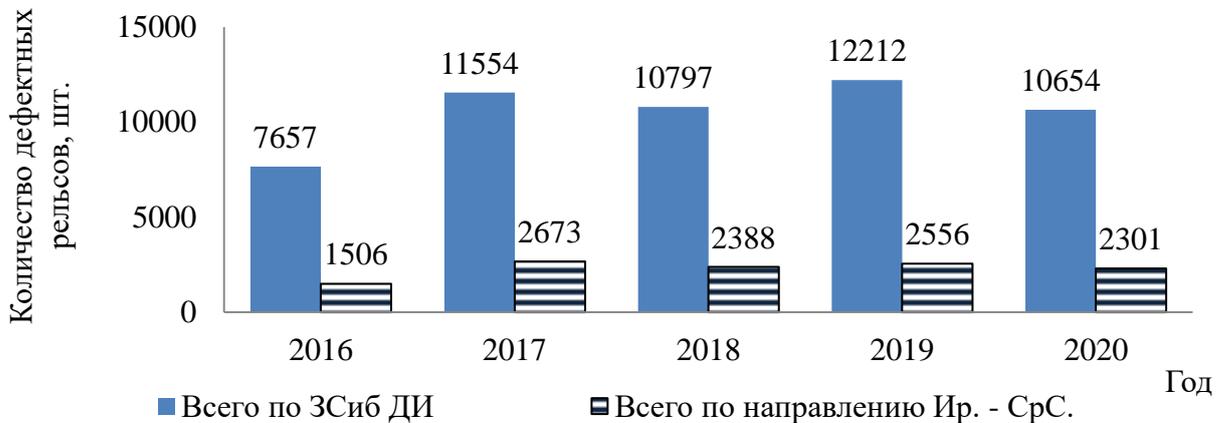


Рисунок 1.7 – Диаграмма замененных дефектных рельсов в пределах Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры за период с 2015 по 2020 год

Таким образом, по всему полигону ЗСиб ДИ на особогрузонапряженных направлениях (как пример, Среднесибирский ход) с 2016 года произошло серьезное увеличение отказов вследствие общего ухудшения состояния элементов железнодорожного пути. С ростом объемов работ, которые возникают как в плановом, так и в неотложном порядке происходит увеличение потребных трудозатрат.

Для проведения работ на перегонах (станциях) с целью безопасности движения поездов, а также безопасности работников производится выдача предупреждений, которые фиксируются в журнале действующих предупреждений по форме ПУ-84. Для каждого вида работ существует специальная форма предупреждения в зависимости от вида работы, состава бригады, используемого инструмента, вида техники. В случае, необходимости ограничения скорости для проведения работ выдается предупреждение на ограничение скорости на время работ. Помимо этого, в случае выявления неисправности, влияющей на безопасность движения и требующей ограничение скорости движения поездов, выдается предупреждение на ограничение до момента устранения данной неисправности (рисунок 1.8).

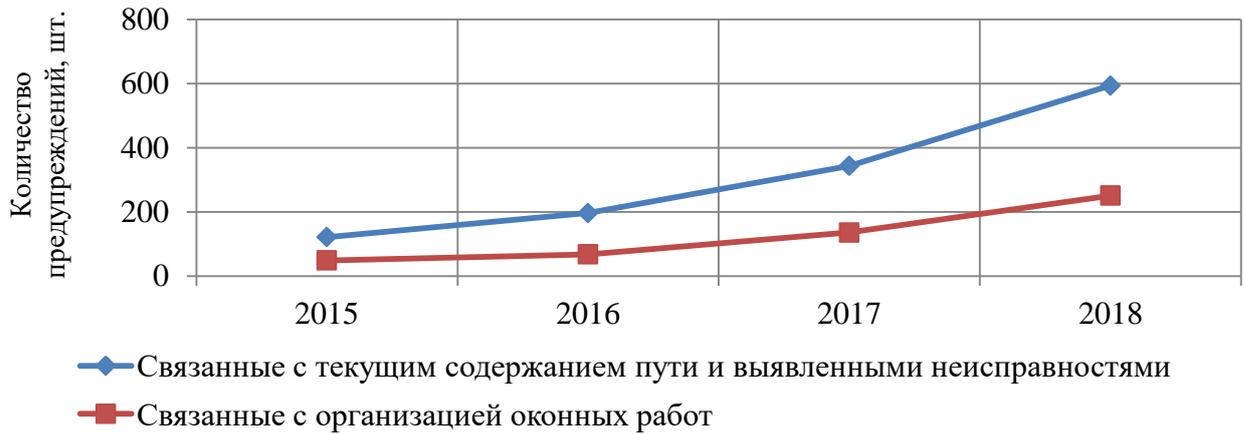


Рисунок 1.8 – График выданных предупреждений с ограничением скорости движения поездов на участке Среднесибирского хода (Каменская дистанция пути)

В работы, обозначенные как связанные с организацией «оконных» работ, вошли подготовительные работы перед «окном», обкатка пути после ремонта, наличие инвентарных рельсов, а также нарушение габарита при работе машин по соседнему пути. В части работ, связанных с текущим содержанием пути и устранением выявленных неисправностей подробная диаграмма распределений предупреждений по причинам приведена на рисунке 1.9. Средняя скорость ограничений составляет 60 км/ч.



Рисунок 1.9 – Распределение основных причин ограничений скорости на участке Среднесибирского хода (Каменская дистанция пути) за период с 2015 по 2018 год

Основной причиной ограничений скорости движения является ненормативная величина стыковых зазоров (20,7 %), что объясняется большим

количеством мест временного восстановления вследствие замены дефектных рельсов. Существенная доля ограничений приходится на отступления по ГРК (17,4 %) и загрязненный балласт (выплески, 16,1 %). Если принять во внимание, что на деградацию ГРК существенное влияние оказывает состояние балластной призмы и промежуточного рельсового скрепления (ПРС), а работы по выправке пути ЭШП (электрошпалоподбойками) направлены на устранение отступлений, то общий процент ограничений, так или иначе связанных с состоянием ГРК составляет 50 % от общего количества.

Таким образом, на основе анализа отказов технических средств и ограничений скоростей на осбогрузонапряженных участках Западно-Сибирской железной дороги можно сделать вывод, что с 2015 года идет ухудшение состояния железнодорожного пути. Рост количества предупреждений с ограничением скорости движения поездов приводит к потерям не только в части простоя и задержки поездов, но и к росту незапланированных трудозатрат на текущее содержание. Данные предупреждения выдаются при выявлении неисправности и действуют до ее устранения. Организация работ по текущему содержанию существенно усложняется вследствие необходимости пересмотра недельного и ежедневного планирования работ. Это ведет к изменению календарного плана работ. Подобные изменения оказывают негативное влияние на качество планирования и организации предупредительных работ, направленных на поддержание равноупругости подшпального основания с целью обеспечения безопасности движения поездов.

1.4 Исследования в области организации производственного процесса содержания геометрии рельсовой колеи

Основным принципом текущего содержания пути является предупреждение появления неисправностей и их своевременное устранение [35]. Так к неотложным работам в части содержания рельсовой колеи относится устранение выявленных неисправностей, требующих ограничения установленной скорости

движения или его закрытия, в частности это отступления по геометрии рельсовой колеи IV степени, либо приравненные к ним. К планово-предупредительным работам в части ГРК относятся работы по выправке пути в плане и профиле и регулировка ширины колеи, а также устранение причин, вызывающих интенсивное расстройство пути. Планирование данных работ производится на основе годового плана дистанции по сезонам (летний, осенний, зимний и весенний) по причине зависимости объемов работ, их номенклатуры и способах выполнения от сезона года. Также планируются комплексные плановые работы с применением путевых машин (ППВ). В сложных условиях эксплуатации часто происходит перераспределение объема работ между бригадами по неотложным и планово-предупредительным работам. В этом случае содержание рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам, как по устранению неисправностей, так и по их предупреждению (отступления II степени) практически полностью ложится на бригады по неотложным работам. В связи с чем, разработка предложений по повышению эффективности организации и планирования работ по содержанию рельсовой колеи является весьма актуальной.

Производственный процесс содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам согласно принципу дифференциации можно разделить на ряд технологических работ и операций в рамках текущего содержания, в частности по выполнению планово-предупредительных, первоочередных и неотложных работ по устранению отступлений и неисправностей ГРК и технологический процесс ППВ машинным комплексом. Планирование работ в части устранения отступлений ручным способом с использованием инструментов малой механизации регламентируется рассмотренными выше документами, и основывается на строгой градации отступлений по степеням, сроках устранения отступлений соответствующей степени, объемах запланированных работ и балловой оценке состояния пути.

Вопрос эффективности планирования работ рассматривался в работах В. П. Бельтюкова [14, 15], где отмечен ряд проблем в части путевого хозяйства. Одной из них является низкая эффективность применяемых методик

планирования путевых работ, по причине того, что отсутствует учет разнообразия эксплуатационных условий, а планы в ходе их выполнения значительно изменяются, по причине отсутствия прогноза технического состояния пути [15]. Также автор приводит коэффициент снижения затрат после проведения соответствующего ремонта. Так ППВ сокращает расходы на техническое обслуживание пути в среднем на 27 %. Также в исследованиях отмечено, что планирование и проведение ремонтов всегда осуществляется при ограниченности ресурсов, поэтому для обеспечения безопасности движения поездов крайне важно проводить ремонты в местах их целевой приоритетной потребности.

Н. И. Карпущенко в своих работах [39, 40, 41, 42] представил исследования в части организации работ по текущему содержанию пути, основываясь на данных, полученных в результате оценки состояния ГРК путеизмерительными вагонами. Проведен анализ характера выявленных отступлений в зависимости от эксплуатационных и климатических условий. Отмечено, что на рассмотренных участках более 90 % от всех работ в части содержания ГРК приходится на плановые работы, (устранение отступлений II степени). Кроме того, отмечено, что на работу по регулировке ГРК приходится свыше 40 % от общих трудозатрат (от 88 до 90 наименований работ). Представленные данные получены по результатам анализа нормативных документов и статистических данных Московской, Октябрьской, Куйбышевской, Приволжской и Западно-Сибирской железных дорог за 2014 год [39]. Также Н.И. Карпущенко представил зависимости фактических затрат труда в части текущего содержания от пропущенного тоннажа.

В работе [37] В. Б. Каменский, используя методы математической статистики, провел оценку геометрических параметров пути, в результате чего представил методику, позволяющую прогнозировать нарастание отступлений между оценкой пути путеизмерительными вагонами и проводить оценку эффективности работ по устранению отступлений. Также методика позволяет определить, какие отступления связаны с общим расстройством пути и требуют выполнения ППВ, а какие отступления образовались вследствие локальных

расстройств (выплеск, износ элементов верхнего строения пути (ВСП)). После чего возможен прогноз интенсивности отступлений, которые связаны с общим расстройством пути для наиболее рационального планирования предупредительных работ.

Планированию ППВ посвящено достаточно большое количество исследований как отечественных, так и зарубежных ученых. Г. М. Шахунянец отмечал, что при высокой грузонапряженности выправочный ремонт должен выполняться ежегодно на всех километрах главного пути [114, 115]. З. Л. Крейниз посвятил немало внимания планированию работ [52, 53], на основе его исследований была предложена схема ремонтно-путевых работ, в которой были четко определены сроки между выправочно-подбивочными работами в зависимости от конструкции пути. В своей работе [3] Г. Л. Аккерман совместно с А. К. Гавриленко предлагают пересмотр критериев назначения подъемочного ремонта и ППВ с переходом на характеристику равножесткости участка. В частности, предлагается использовать модуль упругости подрельсового основания, его среднеквадратическое отклонение и допустимый интервал изменения, которые определяются экспериментальным путем. Методика планирования подъемочного ремонта и планово-предупредительной выправки пути представлена в работе [79].

К. В. Шапетько подчеркнул важность совершенствования методов мониторинга и диагностики железнодорожного пути в условиях увеличения объема перевозок, осевых нагрузок и весовых норм. Ссылаясь на исследования зарубежных источников [119, 130, 136] автор указывает на связь между содержанием и качеством железнодорожного пути, а точное определение жесткости пути позволяет заблаговременно получить информацию о возможных неисправностях и прогнозировать проведение ремонтных работ.

А. В. Дворников в своей работе [22] подчеркнул, что до предложенных им критериев стабильности участка, термины «стабильность состояния пути» и «стабильность показателей геометрии рельсовой колеи» не имели общего формализованного технического раскрытия. В работе отмечено, что на

деформативность пути влияют геометрические параметры пути, а отступления по ГРК являются следствием нестабильности пути. Для принятия решений по стратегии и тактике технического обслуживания пути в работе предложена методика выявления нестабильных участков пути по результатам контроля геометрических параметров пути, измеримых вагоном-путеизмерителем.

Также в работе отмечено, что при наличии системы планирования ППВ по выявлению среднего количества отступлений по ГРК за три весенних месяца, отсутствует порядок назначения выправки в случаях устойчиво меньшего количества отступлений. А заблаговременное устранение отступлений на локальных участках позволяет снизить интенсивность нарастания отступлений, тем самым отсрочив проведение ППВ.

Закономерности изменения состояния ГРК с целью совершенствования системы текущего содержания рассматривались в работе [87], В. П. Сычев провел объемную работу по анализу законов распределения случайных величин, наиболее применимых к оценке состояния пути. На основе анализа был предложен алгоритм оценки состояния железнодорожного пути с возможностью прогноза его изменений и выработки решений по техническому обслуживанию. На основе полученных данных формируется планирование и организация текущего содержания в части выправки и рихтовки пути, а также с определением необходимого объема балласта [110, 111].

В случае приведения ГРК в нормативное состояние за счет выправки пути машинными комплексами, важно учитывать ряд факторов, которые влияют на общую эффективность этих работ. Выбор выправочной машины и их количество влияет на общую продолжительность «окна» по выполнению работ, а также на итоговую выработку. Помимо этого, в сложных климатических условиях необходимо учитывать фактор сезонности для назначения выправочных работ.

В работе [45] Н. И. Коваленко провел анализ результатов выполнения выправочных работ одиночной машиной «Дуоматик 09-32 САТ». Отмечается, что после выполнения выправочных работ одиночной машиной заметного улучшения показателей состояния ГРК выявлено не было. Напротив, замечена тенденция

увеличения общего количества неисправностей. Автор подчеркивает, что неудовлетворительное состояние пути по оценочным параметрам ГРК прямым образом влияет на уровень безопасности движения поездов, что может привести к крушению поезда. Даны рекомендации о необходимости использования полного диапазона работ машинных комплексов при производстве ППВ, в частности путевых машин, отвечающих за стабилизацию и планировку балласта, а также его пополнение при подъемке пути свыше 30 мм. Также Н. И. Коваленко указывает на проблемные зоны системы ЕК АСУИ [46] и предлагает подходы для совершенствования технического обслуживания железнодорожного пути, в том числе на основе производственно-нормативного планирования и применения цифровизации при управлении ресурсами [8, 26, 44, 47, 48].

Вопрос эффективности работы выправочных машин при выполнении ППВ достаточно актуален для участков железнодорожного пути в сложных климатических и эксплуатационных условиях. В ходе наблюдений выявлено, что в настоящее время на полигонах Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской железных дорог в большей степени распространена выправка пути с измерительной поездкой, что в значительной степени снижает эффективность выполненных работ в части продолжительности «окна». Исследования Д. А. Ковенькина с соавторами [91] показывают, что использование системы «ВПИ-Навигатор» позволяет повысить эффективность выправки в «окно» на 23–31 % в зависимости от фронта работ и времени «окна» за счет исключения необходимости измерительной поездки и расчета пути. Помимо этого отмечается, что использование данной системы увеличивает точность выправки и постановки пути в проектное положение. Согласно диаграмме Парето более 50 % приходится на организационные проблемы в ходе подготовки фронта работы к «окну». В основном это несвоевременный подвоз балласта, расположение шпал не по эпюре, наличие выплесков и существенные ограничения по продолжительности «окна» [91]. Авторы связывают это с высокой загруженностью работников дистанций пути. Это характерно для особогрузонапряженных участков Транссибирской магистрали и Среднесибирского хода, где повышенная

загруженность работников путевого хозяйства связана со сложными условиями эксплуатации, приводящие к повышенным показателям дефектности элементов верхнего строения пути, что требует выделения весомых трудозатрат на их замену, как в плановом, так и первоочередном и неотложном порядке.

В части оптимальной продолжительности «окна» А. А. Таранцев рассмотрел данный вопрос с точки зрения имитационного моделирования. В статье [112] представлена блок-схема алгоритма определения параметров «окна» с учетом совмещения работ по одной технологической карте. Также приведены расчеты по определению затрат от задержек поездов и оптимальной продолжительности «окна» в зависимости от длины участка.

Для повышения эффективности работ машинных комплексов активно ведутся разработки в части автоматизации технологических процессов на базе интеграции с Комплексной системой пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ). Большой вклад в этой области внес В. М. Ермаков [28, 30]. Данная система обеспечивает постановку пути в проектное положение в автоматизированном режиме.

Существенное влияние на систему технического обслуживания железнодорожного пути оказал В. О. Певзнер [65, 67, 69, 72, 73, 74]. Проведенные исследования области планирования технического обслуживания ГРК [73] показывают, что на развитие отступлений в основном влияют конструкция пути и условия эксплуатации. В случае эффективности работ по текущему содержанию ГРК помимо эксплуатационных условий, прямое влияние имеет грамотное планирование и вовлеченность работников в процесс технического обслуживания. Так в планировании объемов работ, определяемое фактическим состоянием пути немаловажным фактором является субъективное распределение объемов, основываемое на опыте и квалификации работников. Исследования показывают, что распределение отступлений по их количеству искажается в характерных точках, связанных с граничными значениями оценок отступлений. Из этого следует, что планирование работ по устранению отступлений на каждом линейном участке определяется стремлением работников выполнить плановую

балловую оценку, причем очередность устранения отступлений (применительно к отступлениям II степени) и выбор конкретных отступлений, которые пойдут «под устранение» зачастую определяется субъективным выбором дорожного мастера (ПД) и бригадира (ПДБ). В части локальных расстройств пути В.О. Певзнер отмечает, что их возникновение имеет случайный характер, но предопределяется дефектами земляного полотна, балластной призмы, элементов верхнего строения пути, а также нарушениями в технологии выполнения работ на текущем содержании [73]. Система мониторинга состоит из ретроспективного анализа, прогноза состояния пути, выработки управленческих решений и оценки эффективности принятых решений [75, 77]. Следовательно, на основе анализа изменения состояния ГРК следует прогнозировать его дальнейшую деградацию. В зависимости от результатов прогноза нужно организовать работы по обеспечению ее стабильности, после чего произвести оценку эффективности и качества выполненных работ.

В. О. Певзнер утверждает, что на сегодняшний день необходимо совершенствование технического обслуживания железнодорожного пути для различных условий эксплуатации, а необходимость и объем работ ППВ зависят от качества текущего содержания пути и должны назначаться, когда работ по текущему содержанию недостаточно для стабильного состояния пути [74]. Также подчеркивается характер предупредительных работ, которые должны назначаться заблаговременно и предупреждать расстройства пути, влияющие на безопасность движения. Помимо этого, особое внимание уделяется необходимости учета плотности поездопотока на участках со смешанным движением поездов, где особо важным параметром становится оптимальная продолжительность «окна» [69].

Для прогноза расстройств пути автор выделяет хорошо зарекомендовавший себя метод прогнозирования с использованием интерполяционного полинома Лагранжа, который рассмотрен в работе [113] В. И. Тихомирова. В случае планирования ППВ В. О. Певзнер утверждает, что существующая система назначения выправки пути машинным комплексом сводится не к профилактике, а

к устранению уже возникших отступлений, без учета темпов роста данных отступлений.

С учетом тенденции, наращивания объемов тяжеловесных поездов согласно стратегии научно-технического развития ОАО «РЖД» [106] по созданию условий для организации движения поездов весом до 9 тыс. т и осевой нагрузки свыше 250 кН на выделенных направлениях, необходимо обеспечить готовность инфраструктуры для подобных нагрузок.

В своей работе [56] А. А. Еремушкин утверждает, что для реализации повышения эффективности текущего содержания необходимо проводить профилактическое устранение расстройств пути на ранней стадии их развития, причем без нарушения постели шпал. Для организации текущего содержания пути в условиях высокой грузонапряженности предлагается устранение отступлений II степени укладкой карточек до выполнения планово-предупредительной выправки пути, а критерием ее назначения может служить количество уложенных в путь карточек и прокладок.

Развитие информационных технологий позволяет повысить эффективность организации и планирования работ по текущему содержанию пути за счет использования цифровых двойников [108, 109], так Суслов О. А. предлагает реорганизовать существующую систему технического обслуживания и ремонта пути [63, 107]. Отмечается, что переход на превентивную стратегию технического обслуживания позволит повысить эффективность планирования и организации работ по текущему содержанию и сократить затраты из-за неисправностей за счет своевременного выполнения планово-предупредительных работ.

Необходимость в использовании информационного моделирования также отмечает и Т. Н. Асалханова в работах [6, 7], указывая на значительные проблемы анализа данных системы ЕК АСУИ, что усложняет процесс планирования работ.

В своей работе [129] Н. Khajehei с соавторами разработали методику определения эффективных сроков технического обслуживания железнодорожного пути в части ГРК. Цель исследования заключалась в разработке методики для минимизации общих ежегодных затрат на техническое обслуживание. На

рисунке 1.10 представлена схема зон технического обслуживания ГРК в зависимости от изменения ее состояния. При техническом обслуживании производятся планово-предупредительные работы (PM) и внеплановое техническое обслуживание (CM), причем внеплановое может происходить не только при ограничении скорости, но и при своевременном обнаружении изолированного отступления до момента, когда данное отступление начнет угрожать безопасности движению.

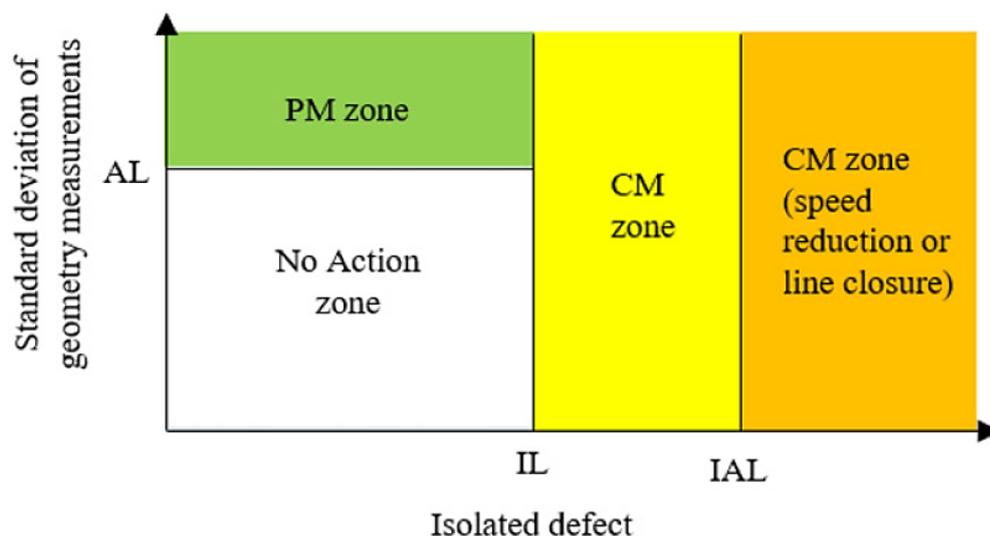


Рисунок 1.10 – Схема принятия решений о техническом обслуживании ГРК

Для организации технического обслуживания участки пути делятся на секции длиной 200 м, которые контролируются по ряду параметров. Так вводятся пределы профилактического обслуживания (AL), нормального внепланового технического обслуживания (IL) и аварийного внепланового технического обслуживания (IAL) с ограничением скорости, либо закрытием участка пути для движения поездов. Когда стандартное отклонение геометрических параметров рельсовой колеи находится меньше предела AL, необходимости в проведении предупредительных работ нет. В случае, когда показатель изолированного отступления (например, пиковое значение отклонение по уровню) находится между пределами IL и IAL – выполняется внеплановое техническое обслуживание, причем без запретных мер в части движения поездов. В случае если данный показатель превышает предел IAL, то выполняются действия по

устранению данного отступления, предварительно ограничив скорость, либо закрыв путь. Отмечается, что внеплановое техническое обслуживание является более затратным, нежели планово-предупредительные работы, так как оно не включено в заблаговременное планирование. Результатом исследования стала математическая модель для определения эффективного предела, который минимизирует общие затраты на техническое обслуживание пути.

Стоит отметить, что основные работы по содержанию рельсовой колеи в зарубежных странах допускают выполнять разными способами (ручная выправка, суфляж, выправка подбивкой балласта), но основной объем выправочных работ проводится машинным способом за счет выправочных машин. В данном случае, опыт зарубежных исследования и организации работ в части текущего содержания рельсовой колеи применительно к железным дорогам России может учитываться лишь частично, так как основные работы при текущем содержании на ОАО «РЖД» выполняются вручную и с применением механизированного инструмента.

В своих работах [127, 128] А. Kasraei с соавторами рассматривали вопрос текущего содержания рельсовой колеи с точки зрения минимизации затрат. Отмечается, что для повышения эффективности принятия решений в рамках технического обслуживания пути необходима модель, характеризующая изменение ГРК, для создания которой наилучшим образом подходит метод Монте-Карло. Также необходим подробный анализ состояния ГРК, на основе которого можно определить оптимальную периодичность проверки средствами диагностики. Отмечается, что с повышением частоты проверок увеличиваются затраты на проведение предупредительных работ, в то время как вероятность появления неисправностей сокращается, а соответственно, и затраты появившиеся вследствие неисправности, при увеличении периода проверок ситуация изменятся прямо пропорционально. Из этого следует, для минимизации общих затрат на содержание рельсовой колеи важным фактором является определение оптимального срока проведения работ по предупредительным работам для обеспечения безопасности движения. В данном случае встает вопрос условий

эксплуатации, так как при различных параметрах (план и профиль линии, пропущенный тоннаж, осевая нагрузка, климатические условия) уровень распределения отступлений в зависимости от пропущенного тоннажа будет различным.

В последние годы зарубежными учеными активно ведется изучение деградации состояния ГРК и разработки методов повышения эффективности его технического обслуживания [124, 137, 138, 139, 141], стоит выделить исследования I. Soleimanmeigouni, в его работах отмечается, что после проведения работ по выправке пути 35 % неисправностей по уровню повторяются в том же месте, соответственно, выправочных работ недостаточно для устранения причин данных неисправностей.

В исследовании [122] Н. Guler провел моделирование ухудшения состояния геометрии рельсовой колеи с использованием многовариантного статистического анализа, которое позволило сформировать прогноз деградации ГРК. Для анализа были сформированы железнодорожные участки с максимально идентичными условиями эксплуатации, помимо этого учитывались климатические особенности окружающей среды, сроки и виды проведенных ремонтов данных участков. Для каждого параметра (отступления) были определены коэффициенты независимых переменных, влияющих на развитие отступлений, с целью прогноза их дальнейшего развития. На основе полученных результатов предлагается организовывать работы по техническому обслуживанию. Помимо этого в работах Н. Guler и ряд других зарубежных ученых проводили исследования в области использования нейронных сетей для прогнозирования состояния ГРК [123, 132, 133] с целью определения наиболее эффективных сроков технического обслуживания.

Выводы по главе

Обзор отечественных и зарубежных источников в области содержания рельсовой колеи показал, что к настоящему времени существует множество

исследований в части выявления отступлений и изучения влияния различных условий на динамику их развития. Перечень параметров, регистрирующихся средствами диагностики, заметно расширился, что приводит к необходимости контроля над данными параметрами и их содержанию. Также немало исследований посвящено прогнозированию роста отступлений и определению оптимальных сроков проведения технического обслуживания железнодорожного пути с использованием разработок, направленных на снижение вероятности появления отступлений.

Использование известных методов и средств диагностики состояния ГРК совместно с применением эффективных методов планирования и организации содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам может обеспечить бесперебойную работу рельсовой колеи на всех этапах межремонтного цикла. Вместе с тем, вопрос планирования и организации производственного процесса содержания рельсовой колеи с точки зрения эффективности организации и планирования работ в сложных условиях эксплуатации рассмотрен недостаточно полно. Очередность устранения отступлений регламентируется исключительно степенью отступления и сроками их устранения, в то время как планирование и организация работ по текущему содержанию рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам полностью зависит от решений работников структурных подразделений и не имеет средств поддержки принятия решений. Данная позиция приводит к организации работ на краткосрочную перспективу, с целью обеспечения выполнения балловой оценки в текущем месяце без учета среднесрочной перспективы.

Из проведенного анализа нормативных документов и исследований в области состояния ГРК видно, что при увеличении межремонтного срока железнодорожного пути и роста осевых нагрузок интенсивность развития отступлений будет только расти, в свою очередь сложные климатические и эксплуатационные условия затрудняют процесс текущего содержания. Состояние ГРК оказывает существенное влияние на безопасность и бесперебойность

движения поездов с установленными скоростями. Повышенная дефектность элементов верхнего строения пути и рост отказов технических средств в сложных условиях эксплуатации увеличивает общую трудоемкость работ. Это создает условия ограниченных трудовых ресурсов, а именно снижение численности производственного персонала линейных участков, который может быть направлен на планово-предупредительные работы по содержанию рельсовой колеи.

В свою очередь организация процесса выправки пути машинным комплексом, которая позволяет сократить трудозатраты на содержание рельсовой колеи, осуществляется на основе величины фронта работ и фактического наличия выправочных машин в парке, что приводит к снижению эффективности выправочных работ на отдельных участках. Строгое ограничение времени «окна» со стороны службы движения приводит к необходимости повышения выработки в рамках заданного времени. Из чего вытекает вопрос повышения эффективности работы машинного комплекса при выполнении выправочных работ в «окно». Следовательно, тема планирования и организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам в сложных условиях эксплуатации представляется весьма актуальной.

2 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СОСТОЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ

Контроль основных и дополнительных геометрических параметров рельсовой колеи осуществляется для обеспечения безопасного и бесперебойного движения поездов с установленными скоростями. Выявление отступлений от заданных параметров ведется путем проверки железнодорожного пути путеизмерительными вагонами и современными диагностическими комплексами. Отступления от данных параметров влияют на безопасность и бесперебойность движения поездов. Анализ условий, влияющих на развитие отступлений, позволяет оценить эффективность способов предупреждения и устранения отступлений, а также планирования и выполнения работ по содержанию рельсовой колеи.

Появление и развитие отступлений имеет вероятностный характер и зависит от условий эксплуатации железнодорожного пути. В частности, большое влияние на характер и динамику развития отступлений имеет как план линии, так и климатические условия, наравне с особенностями грунтов, слагающих основную площадку. Немаловажным фактором, влияющим на интенсивность отдельных отступлений и эффективность борьбы с ними, является вид используемого промежуточного рельсового скрепления (ПРС). В зависимости от вида скрепления характер отступлений на участках пути в единых условиях эксплуатации может различаться в значительной степени. Нарастивание объемов тяжеловесных поездов до 50 % всего подвижного состава и наличие инновационных вагонов с осевой нагрузкой до 250 – 270 кН вынуждает рассматривать данные составы как отдельные условия эксплуатации.

2.1 Влияние климатических условий

Влияние внешней среды имеет большое значения на общие показатели работы железнодорожного пути. Наиболее активным фактором внешней среды

является температура. Исследования в области эксплуатации железнодорожного пути в условиях отрицательных температур показывают повышенный уровень отказов элементов верхнего строения пути. В частности, при низких температурах происходит рост отказов рельсов вследствие излома, а число дефектных рельсов существенно увеличивается зимой и в период оттаивания подшпального основания [1, 54].

Стоит также учитывать, что сезонность и перепады температур также негативно влияют на состояние железнодорожного пути. Щепотин Г.К. отмечал, что зимний и весенний периоды отрицательно сказываются на надежности рельсов. Так при среднеосевой нагрузке 200 кН зимой интенсивность отказов увеличивается в 1,26 раз, а в период оттаивания подшпального основания в 1,39 раз [116]. Сочетание высоких нагрузок и неоднородного оттаивания подшпального основания приводят к повышенному воздействию колесной пары на рельс в местах просадок.

Неравномерная осадка подшпального основания в период его оттаивания глубоко изучена сотрудниками кафедры «Путь и путевое хозяйство» НИИЖТа [19, 20, 21, 117]. Текущее содержание железнодорожного пути, в том числе рельсовой колеи в значительной степени усложняется, как при наличии пучинных мест, так и грунтов, подверженных неравномерному оттаиванию. В условиях перевозки грузов, существенно влияющих на степень загрязненности балластной призмы (уголь), интенсивность расстройств ГРК увеличивается, вследствие чего повышается уровень отступлений по ГРК и количество локальных загрязнений балласта (выплесков).

Таким образом, основным фактором, влияющим на состояние ГРК, выступает неравномерное оттаивание балласта в весенний период. Вместе с тем, в этот период наблюдается как повышенная дефектность рельсов, так и ухудшение состояния балластной призмы (выплески, пустые шпальные ящики и т.д.). Все эти факторы влияют на общий уровень трудозатрат, вследствие чего в условиях ограниченных ресурсов образуется «очередь» (формула 2.1), которая отражается на безопасности движения поездов.

При уровне требуемых трудозатрат Q_{mp} , превышающим уровень трудовых ресурсов линейных участков структурных предприятий путевого хозяйства (Q_n), определяющиеся исходя из количества рабочих часов и контингента, возникает «очередь» на выполнение работ:

$$Q_{mp} > Q_n \rightarrow \text{"очередь"} \quad (2.1)$$

Данная «очередь» устраняется либо в следующий этап (месяц), либо за счет дополнительных рабочих часов (в выходные дни), а также неотложно при достижении выявленных отступлений критических значений.

Автором выявлено, что основными причинами ограничений скорости на участке Среднесибирского хода (в пределах Каменской дистанции пути) являлись: неисправности ГРК, дефектность элементов ВСП, ненормативная величина зазоров, выплески (рисунок 2.1).

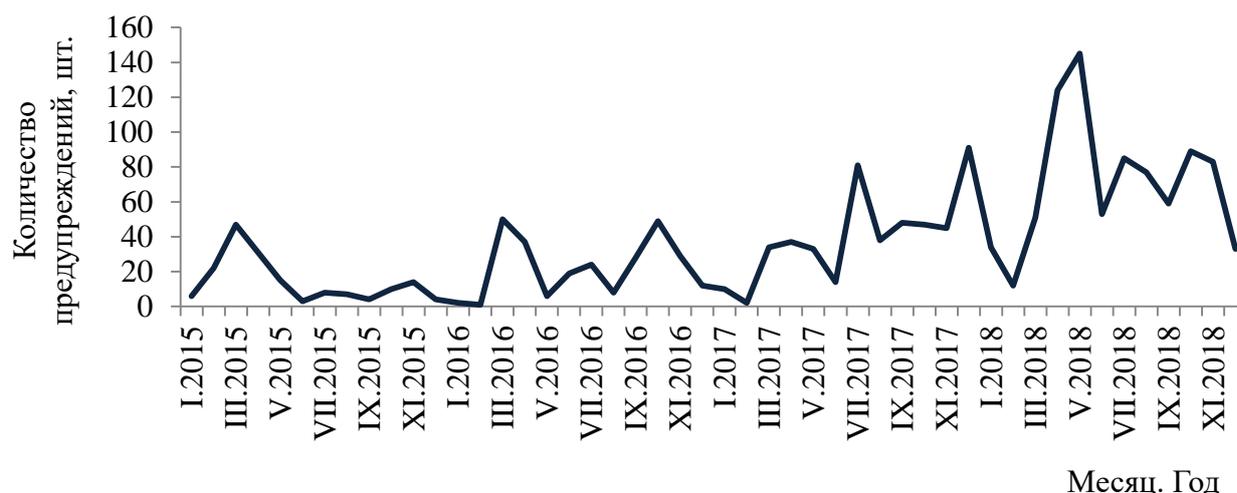
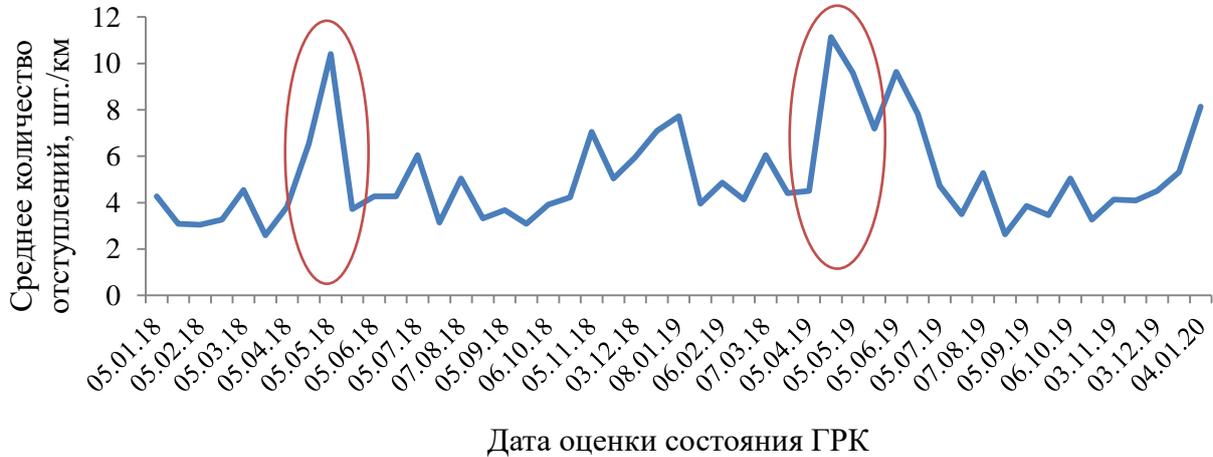


Рисунок 2.1 – График предупреждений об ограничениях скорости движения поездов на участке Среднесибирского хода за период с 2015 по 2018 год

Отчетливо видны резкие увеличения в весенние периоды (март, апрель, май), также с 2016 года наблюдается скачки и в осенний период, вследствие ограничений по нормативной величине зазоров, что связано с ростом дефектности рельсов, соответственно увеличением мест временного восстановления. Также на графике просматривается рост среднего значения ограничений скоростей, начиная с 2016, что говорит об ухудшении состояния железнодорожного пути. В случае содержания ГРК основным показателем является количество отступлений,

логично, что неоднородное оттаивание подшпального основания прямым образом влияет на ухудшение состояния ГРК. Для примера на рисунке 2.2 представлен график среднего количества отступлений на участке I-го пути Среднесибирского хода.



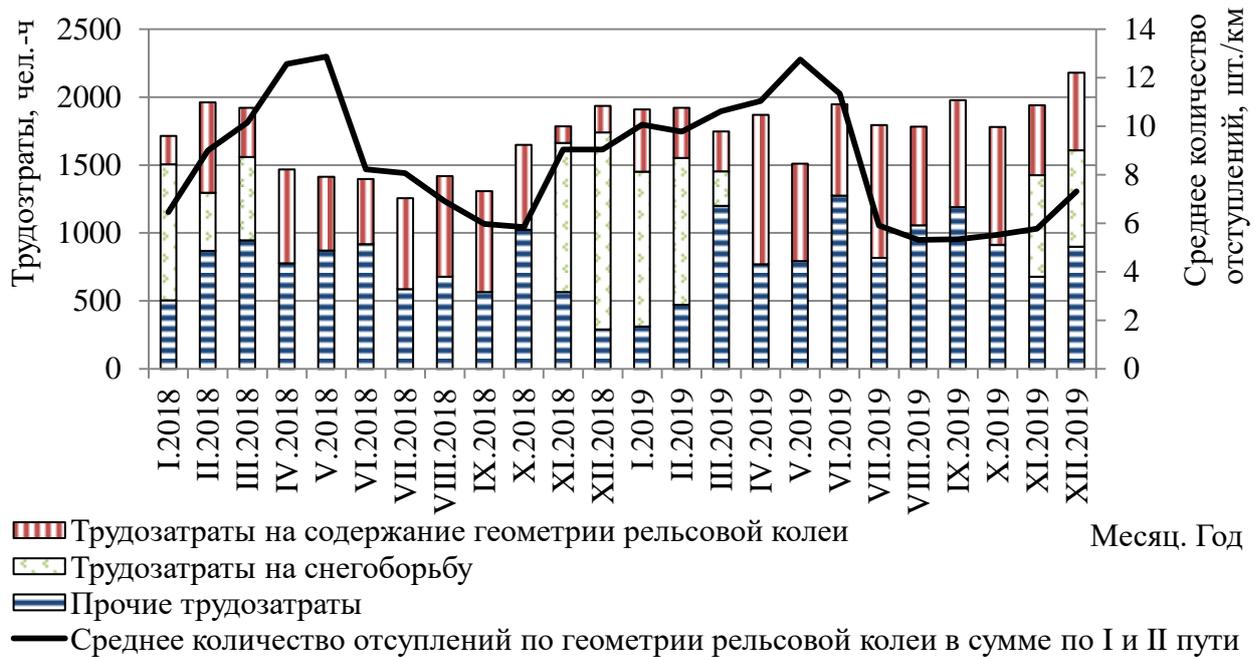


Рисунок 2.3 – Пример распределения трудозатрат на линейном участке Каменской

Из общей категории были выделены две группы работ. В первую группу вошли работы по содержанию рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам: работы по выправки пути на регулировочные карточки, замене элементов скреплений (подрельсовых прокладок, резиновых амортизаторов, клемм и т.д.), выправка пути на ЭШП. Во вторую были включены работы по снегоборьбе: очистка стрелочных переводов и пикетных столбиков от снега, разделка валов, а также вскрытие кюветов и отчистка прочих водоотводных устройств от снега. С приходом зимы на линейных участках появляется необходимость организовывать работы по снегоборьбе, причем часть работ (очистка стрелочных переводов от снега) выполняется круглосуточно, для обеспечения бесперебойного движения поездов. В этот период происходит сокращение численного состава монтеров пути, который планируется на выполнение прочих задач по текущему содержанию пути, в том числе и на содержание рельсовой колеи.

По графику среднего количества отступлений на главных путях (I и II путь, общей протяженностью 44 км), отчетливо виден рост отступлений как в весенние месяца, вследствие уже упомянутого оттаивания подшпального основания, так и в зимние, по причине сокращения трудозатрат на содержание рельсовой колеи.

Особенно ярко это проявляется с ноября 2018 по март 2019, где затраты на ГРК в среднем составляли 288 чел.-ч или 15,5 % от общих трудозатрат. Необходимость перераспределения высокой доли трудозатрат на снегоборьбу в зимние месяца (в среднем 54 % от общих трудозатрат) обуславливается степенью снегозаносимости Западно-Сибирской железной дороги (особо сильнозаносимая).

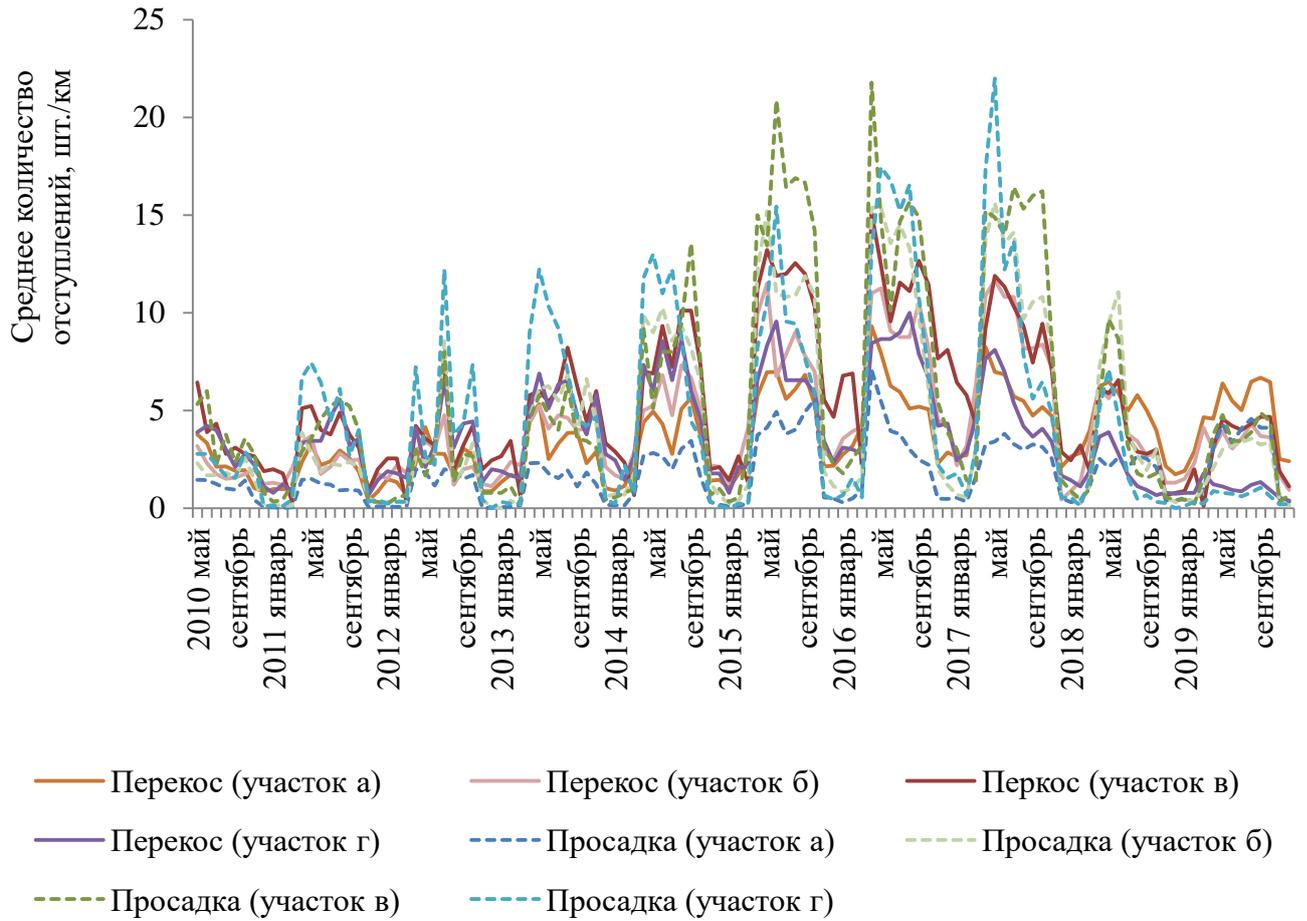
Для оценки влияния неравномерной осадки подшпального основания на конкретный вид отступления были проанализированы участки Транссибирской магистрали в границах Красноярской дирекции инфраструктуры (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Эксплуатационные характеристики участков Транссибирской магистрали (Козульская дистанция пути Красноярской дирекции инфраструктуры)

Название параметра	Характеристика участков			
	КБ	ЖБР	ЖБР	ЖБР-Ш
Наименование участка	а)	б)	в)	г)
Класс и код группы	10			
Грузонапряженность на 01.01.2020, млн. т км бр./км в год	125,5			
Пропущенный тоннаж на 01.01.2019 г., млн. т	1190	1045	1038	1038
Год укладки	2006	2007	2007	2007
Скорость поездов пассажирских/грузовых, км/ч	110/80	80/80	80/80	90/80
Длина участков, км	57	16	9	9
Доля кривых, процент	57	69	90	92
Средний радиус, м	1045	825	445	420
Минимальный радиус кривой, м	535	615	400	400

В случае отступлений по уровню, а также отступлений в плане (рихтовка), среднее количество данных отступлений на всех рассматриваемых участках существенно не меняется в течение года (рисунок 2.4б). Среднее количество отступлений по уровню и рихтовки (в зависимости от среднего радиуса участков и типа ПРС) варьируется в диапазоне от 0,7 до 1,3 шт./км и от 0,7 до 1,4 шт./км соответственно. Для перекоса и просядок характерен резкий рост отступлений в весенний период, что отчетливо видно на рисунке 2.4а.

а)



б)

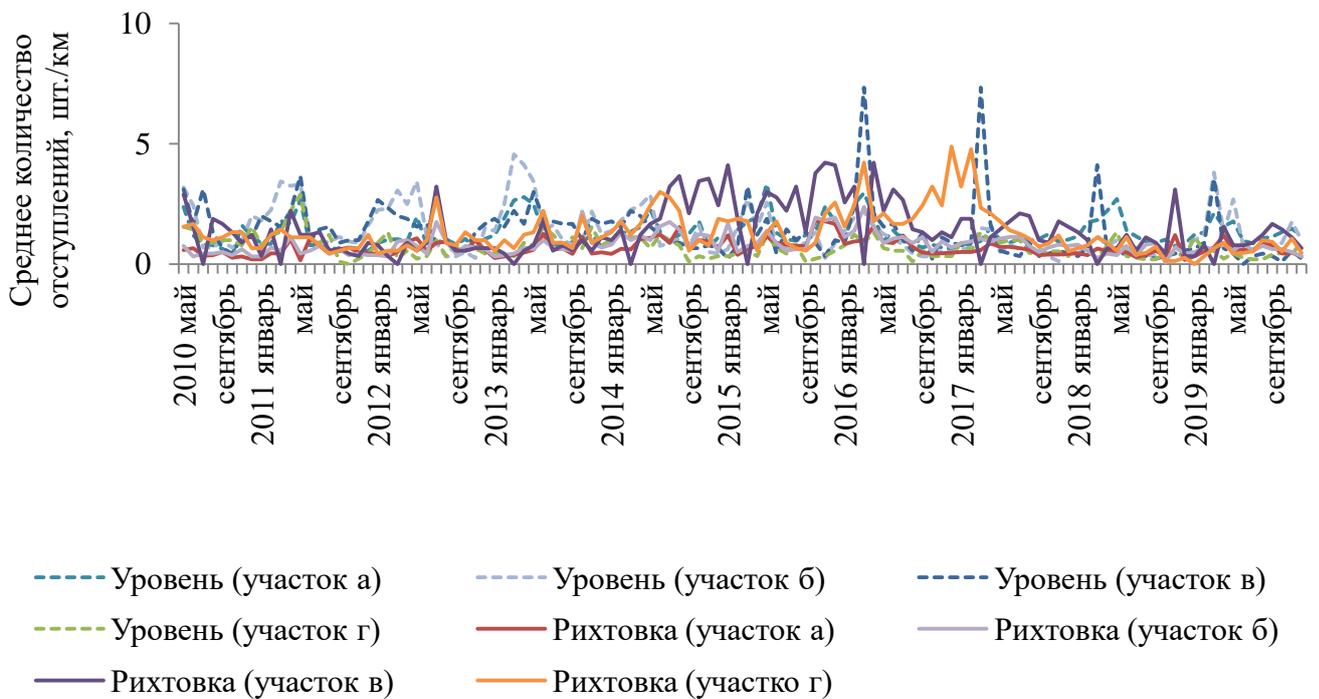


Рисунок 2.4 – Зависимость среднего количества отступлений в плане и профиле от сезона эксплуатации: а) для перекаса и просадки; б) для уровня и рихтовки

Также, стоит отметить, что в климатических регионах с продолжительными сезонами замерзания подшпального основания единственным способом регулировки рельсовой колеи по уровню, в плане и по ширине колеи остается работа с рельсовыми скреплениями (таблица 2.2).

В случае отступлений по ширине колеи, ее регулировка осуществляется за счет работы со скреплениями круглогодично (замена резиновых и пластиковых прокладок, установка регулировочных пластинок.) При устранении отступлений в профиле за счет работы с ПРС уровень головки рельса изменяется за счет регулировочных прокладок и карточек.

Таблица 2.2 – Способы устранения отступлений по ГРК в зависимости от состояния подшпального основания

Устранение отступлений до и после замерзания балласта					
за счет работы с ПРС		за счет работы с балластной призмой (выправка)			
уширение (Уш)	сужение (Суж)	рихтовка (Р)	просадка (Пр)	перекос (П)	уровень (У)
Устранение отступлений при замершем балласте					
за счет работы с ПРС					
уширение (Уш)	сужение (Суж)	рихтовка (Р)	просадка (Пр)	перекос (П)	уровень (У)

В связи с чем становится актуальным вопрос эффективности того или иного скрепления в части содержания ГРК. Весь широкий спектр климатических и эксплуатационных особенностей содержания железнодорожного пути отражается не только на динамике развития отступлений, но и на условиях и качестве организации работ.

2.2 Влияние кривых участков пути и типа рельсового скрепления

В ходе проектирования железнодорожной линии в сложных условиях частым случаем является устройство кривых участков пути, что, несомненно, влияет на условия эксплуатации железнодорожного пути в дальнейшем. Появление дополнительных горизонтальных сил приводит к повышенному износу рельсовых нитей и ужесточению требований на содержание рельсовой колеи.

В случае особенности содержания рельсовой колеи, в частности устранение отступлений за счет работы с элементами ПРС, важно принимать во внимание зависимость развития отступлений по ГРК от наличия кривых участков пути [4, 38, 98, 126]. В некоторых случаях возможны натурные исследования для оценки динамических усилий в элементах ПРС, а также подшпальной зоне с привязкой к конкретным значениям радиусов, но в реальных условиях эксплуатации фронт работы бригады по устранению отступлений сводится к одному или нескольким километрам. Причем, на данных километрах может быть как разная доля кривого участка пути, так и разный план линии.

Для выявления зависимости динамики отступлений от плана линии, с учетом типа ПРС, автором были отобраны участки Красноярской железной дороги, где присутствует широкий полигон для исследования данного вопроса в части протяженности кривых участков пути с различным радиусом и типом ПРС [93, 95, 96, 99].

Для проведения данного анализа были выбраны участки I-го и II-го пути Транссибирской магистрали на Козульской дистанции пути. Общая длина анализируемых участков составила 181 км (90 км по I-му пути и 91 км по II-му пути). Основные эксплуатационные характеристики рассматриваемых участков по состоянию на 01.01.2020 г. приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Эксплуатационные характеристики исследуемых участков

Название параметра	Характеристика участков							
	путь I				путь II			
	КБ	АРС	ЖБР	ЖБР-Ш	КБ	ЖБР	ЖБР	ЖБР-Ш
Номер участка	1	2	3	4	5	6	7	8
Класс и код группы	10							
Грузонапряженность, млн. т км бр./км в год	72				116			
Пропущенный тоннаж, млн. т	612	536	515	465	1190	1045	1038	1038
Год укладки	2008	2010	2009	2012	2006	2007	2007	2007
Скорость поездов пассажирских/грузовых, км/ч	100/80	90/80	80/80	90/80	110/80	80/80	80/80	90/80
Длина участков, км	44	6	10	30	57	16	9	9
Доля кривых, процент	58,3	66,7	96,3	84,2	57,4	68,8	89,9	91,8
Средний радиус, м	1039	1038	443	426	1048	825	447	419
Минимальный радиус кривой, м	530	539	409	373	532	615	400	400

Небольшая разница по году укладки и характерный план железнодорожной линии позволили провести сравнительный анализ влияния данных креплений на показатели эксплуатационной работы железнодорожного пути с учетом плана линии. Отдельно сравнивались крепления КБ и АРС на участках с кривыми радиусом более 500 м по I-му пути (участки 1 и 2) и КБ и ЖБР по II-му пути (участки 5 и 6). Крепления ЖБР и ЖБР-Ш на участках с кривыми от 350 до 500 м отдельно по каждому пути (участки 3 и 4, 7 и 8 соответственно).

Графики среднего количества всех отступлений, для рассматриваемых креплений с учетом плана линии и динамики изменения по месяцам, представлены на рисунках 2.5 – 2.6.

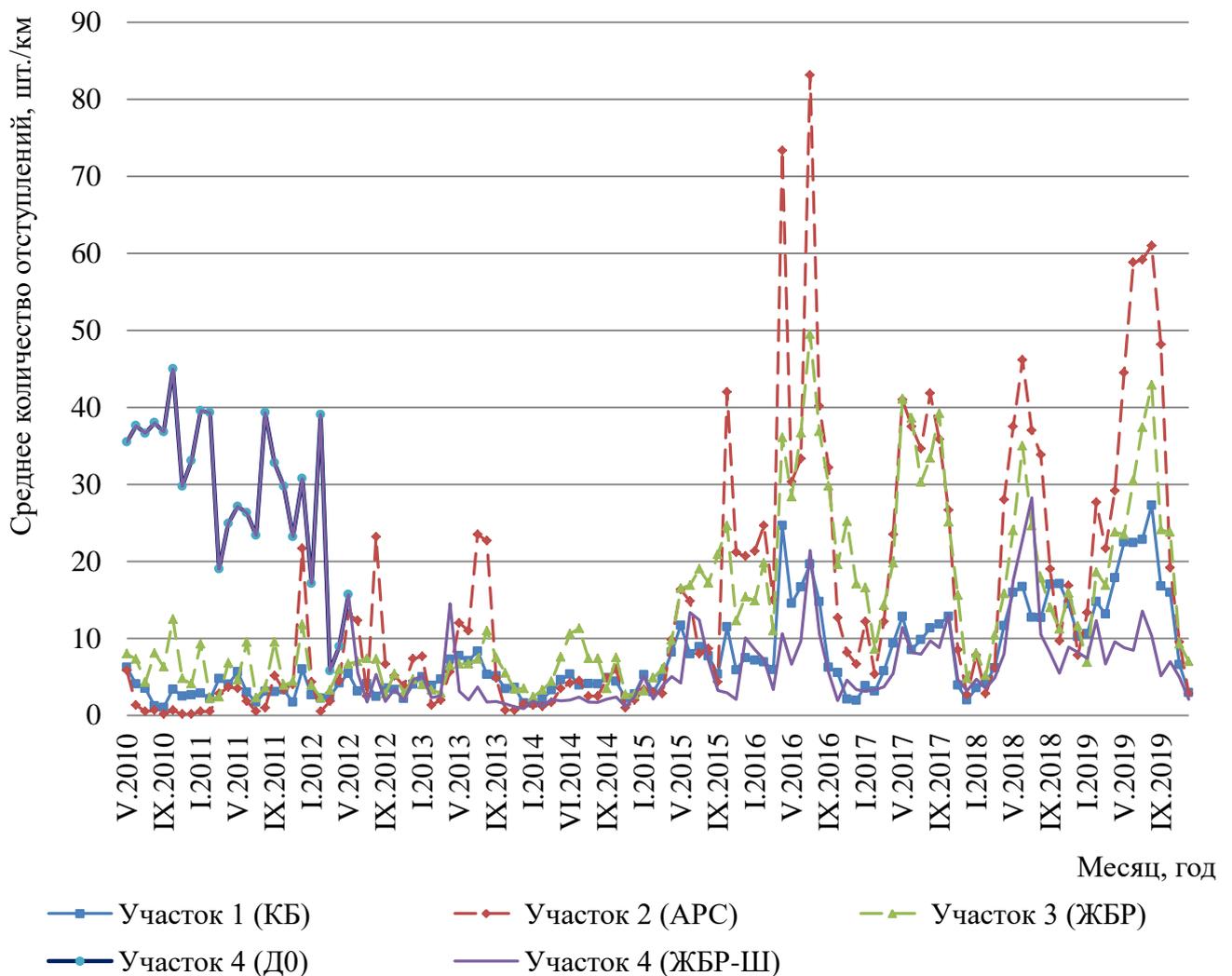


Рисунок 2.5 – Среднее количество отступлений на участках 1 – 4

На участке 4 до июня 2012 года эксплуатировалось костыльное крепление Д0, что отчетливо видно на графике по количеству отступлений (20 – 40 шт./км).

Выявлено, что для всех участков характерен рост отступлений в весенние и летние месяцы, обусловленное климатическими особенностями данного района. После начала неравномерного оттаивания подшпального основания в апреле еще на протяжении нескольких месяцев приходится бороться с неравномерной осадкой пути.

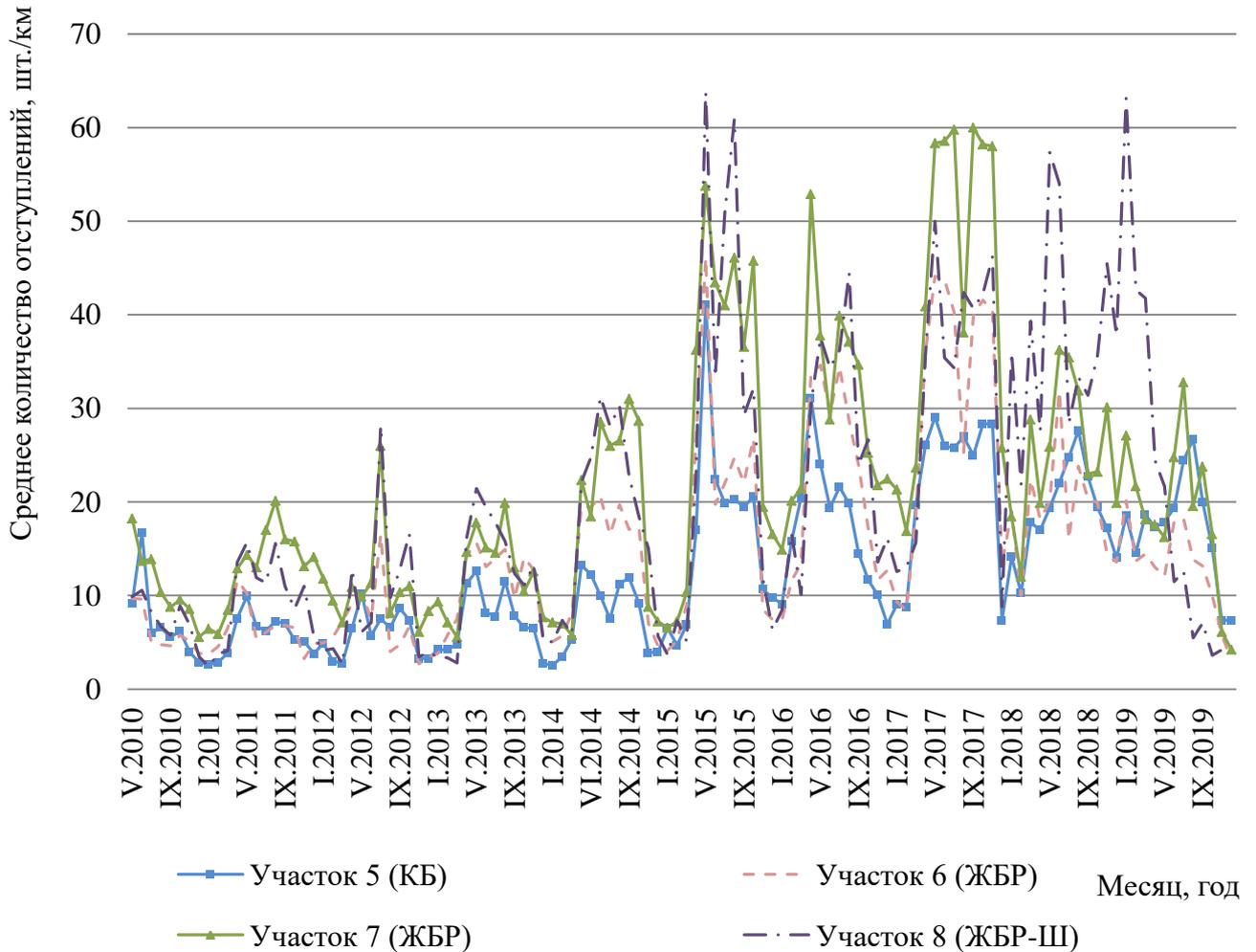


Рисунок 2.6 – Среднее количество отступлений на участках 5 – 8.

На участке 2 скрепление АРС проявило себя не лучшим образом, на этом участке выявлено наибольшее число отступлений, в частности по ширине колеи. Данные отступления связаны с конструктивной особенностью скрепления: между кромкой подошвы рельса и металлической частью скрепления предусмотрен изолирующий уголок из полимера, который часто изнашивается и приходит в негодность.

Среднее количество отступлений по видам и их процентное соотношение для рассматриваемых участков представлено на рисунках 2.7 и 2.8.

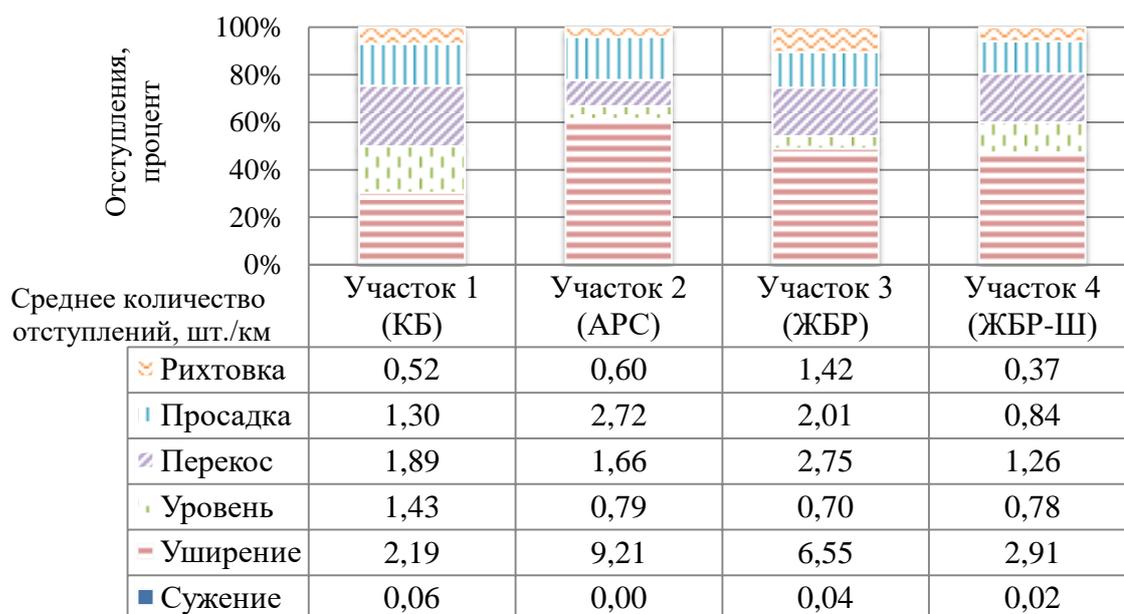


Рисунок 2.7 – Процентное соотношение отступлений на участках 1 – 4

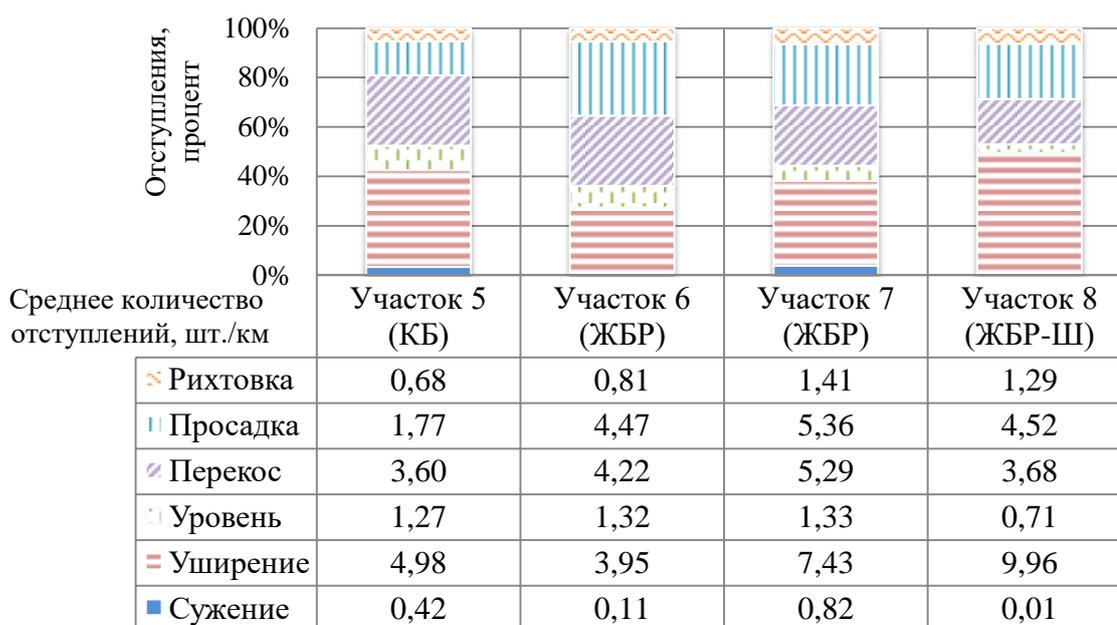


Рисунок 2.8 – Процентное соотношение отступлений на участках 5 – 8

Выявлено, что основная доля отступлений на всех участках приходится на уширение (30–62 %), также стоит отметить просадки и перекосы. Сравнение участков показало, что в данных условиях использование скрепления КБ эффективней, чем АРС. В случае участков с большим количеством кривых (средний радиус – 400 м) на скрепление ЖБР-Ш пришлось на 54 % меньше отступлений, чем на ЖБР. На участках 5-8 скрепления осуществили пропуск свыше 1 млрд. т брутто.

На данных участках заметна аналогичная картина: резкий рост отступлений в апреле и их устойчивое количество до конца лета, причем в некоторых случаях снижение среднего количества отступлений происходит только к зиме. На участке 8 в мае 2018 г. и в период с ноября 2018 г. по февраль 2019 г. отмечены резкие скачки в отступлениях (45 – 63 шт./км), которые приходятся на уширение. Снижение количества отступлений на данном участке обуславливается проведением ремонта летом 2019 года, при котором помимо очистки балласта и выправочных работ провели смену рельсовых плетей и дефектных элементов скреплений. Сравнение отступлений на участках 5 и 6 показало, что на участках со скреплением ЖБР выявлено на 13 % меньше отступлений по ширине колеи, но общее количество отступлений выше, чем у КБ на 15 %.

На участках 7 и 8 схожая картина, скрепление ЖБР-Ш обеспечило меньшее количество отступлений (на 7 %), чем ЖБР, но на уширение пришлось 49 % от всех отступлений, против 34 % у ЖБР.

На рисунках 2.9 и 2.10 представлены гистограммы распределения отступлений с учетом влияния ширины колеи для участков 7 и 8.

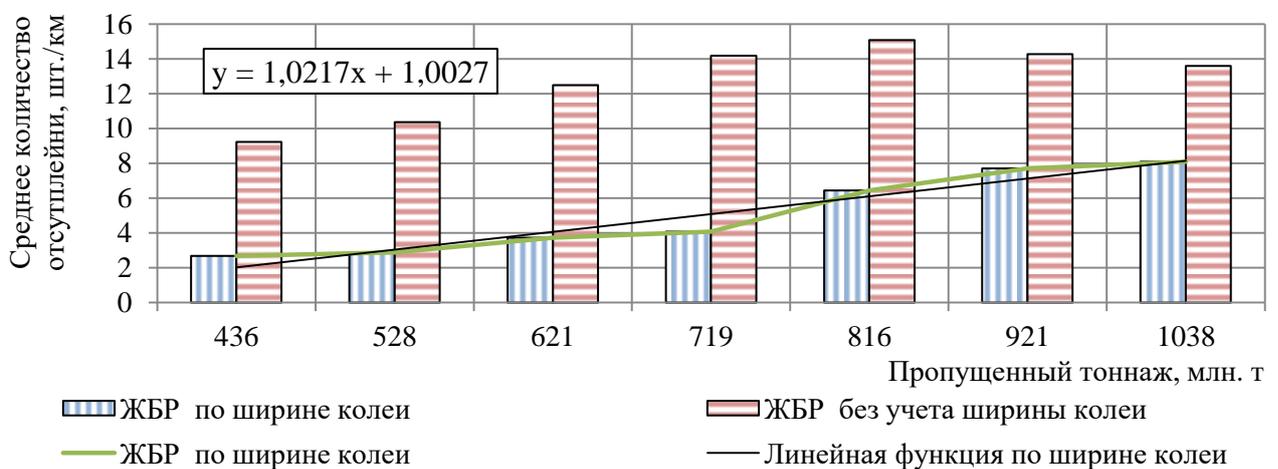


Рисунок 2.9 – Распределение отступлений по ширине колеи для участка 7

Из построенных гистограмм видна зависимость отступлений по ширине колеи от пропущенного тоннажа, следовательно, и от состояния элементов ПРС. Методом наименьших квадратов эта зависимость описана линейными функциями, что позволяет оценить, при каком пропущенном тоннаже необходимо применять меры по смене элементов скреплений.

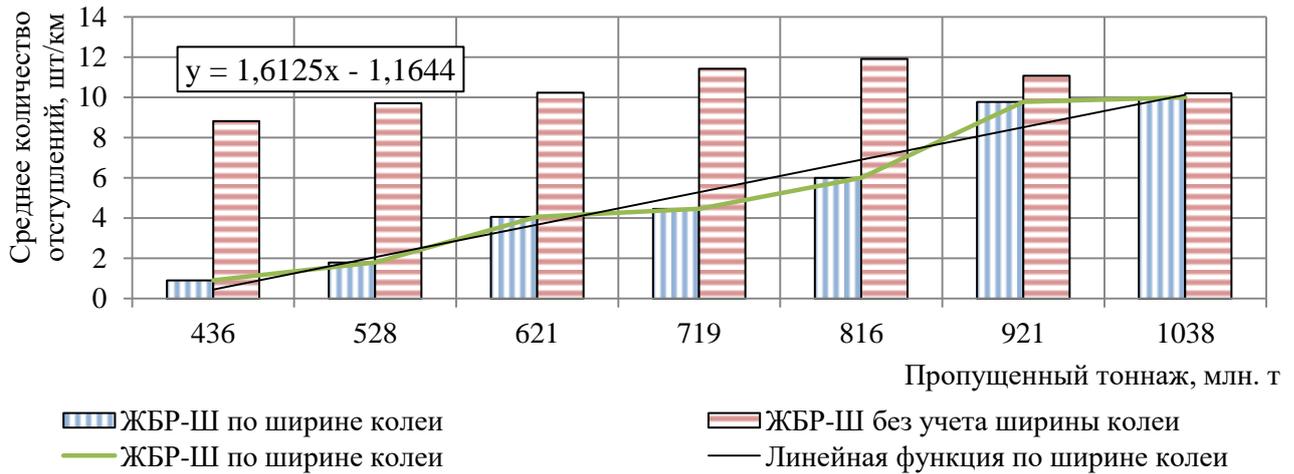


Рисунок 2.10 – Распределение отступлений по ширине колеи для участка 8

Анализ эффективности работы промежуточных рельсовых скреплений на данных участках показал, что в заданных условиях наилучшим образом проявили себя скрепления КБ и ЖБР-Ш. Вместе с тем у данных скреплений существует ряд сложностей, которые приводят к росту отступлений при увеличении пропущенного тоннажа. Анализ состояния ГРК на участках позволил выявить ряд закономерностей.

С увеличением доли кривых и уменьшением радиуса растет среднее количество отступлений. На участках со скреплением ЖБР-65 (средний радиус – 830 м; доля кривых – 69 %) среднее количество отступлений составляет 14,9 шт./км, когда на участке со скреплением ЖБР-65 (средний радиус – 450 м; доля кривых – 92 %) среднее количество отступлений за весь исследуемый период в 1,5 раза больше (21,7 шт./км). Стоит отметить, что основное увеличение количества отступлений приходится именно на ширину колеи (рост сужения в 7,7 раз, уширения в 1,9), а также отступления в плане (рост рихтовок в 1,7 раз), в то время как количество отступлений в профиле увеличилось незначительно (рост перекоса – 1,25, просадки – 1,2, уровня – 1,003).

Результаты натурного осмотра скреплений на данных участках показали, что основные сложности в эксплуатации скреплений КБ, связанных с отступлениями в профиле (просадка, перекос, уровень) – ослабление гаек клеммных болтов или излом клеммы (рисунок 2.11). При данных дефектах происходит смещение

регулирующих прокладок из под подошвы рельса. В случае отступлений по ширине колеи – основной причиной является износ прокладок под подкладкой.



Рисунок 2.11 – Результаты натурных осмотров состояния промежуточных рельсовых креплений КБ-65: 1 – смещение регулировочных прокладок; 2 – излом клеммы; 3 – износ прокладок под подкладкой

У крепления ЖБР-Ш проявились две основные проблемы (рисунок 2.12).

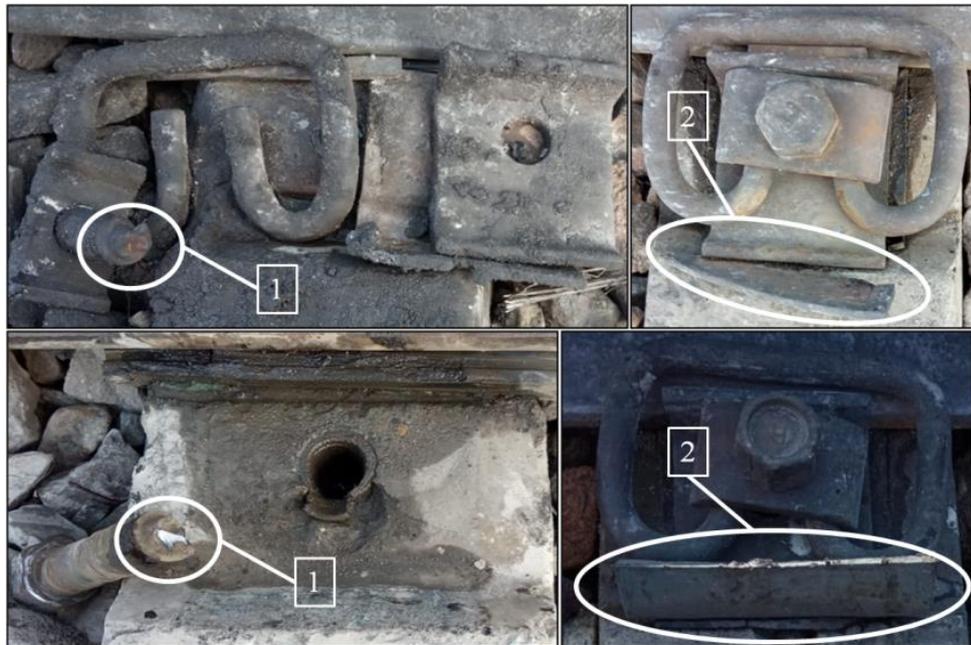


Рисунок 2.12 – Результаты натурных осмотров состояния промежуточных рельсовых креплений ЖБР-65Ш: 1 – излом шурупа; 2 – дефект дюбеля; 3 – излом регулировочной прокладки

Первая проблема заключается в отсутствии подкладки, что увеличивает вероятность выскользывания регулировочных прокладок из под подошвы рельса, что частично компенсируется прижатием шурупа, который исключает возможность ослабления узла скрепления. Вторая проблема заключается в изломе шурупа на участках, где проводились работы по регулировки ширины колеи или исправлению рихтовок в зимнее время, замечены изломы шурупов, а также дефекты в дюбеле, что приводит к полной негодности узла скрепления.

Между состоянием элементов промежуточных рельсовых скреплений и состоянием ГРК прослеживается взаимосвязь: с увеличением пропущенного тоннажа происходит повышенный износ элементов скрепления, вследствие чего возможно появление отступлений. В большинстве случаев это отступления по ширине колеи, но также наблюдаются отступления в профиле и плане.

В данной части исследования большое внимание уделяется уширению и сужению про причине того, что именно эти отступления круглогодично характеризуют эффективность работы промежуточного рельсового скрепления в борьбе с отступлениями по ГРК. Отступления по балласту (отступления, связанные с состоянием балластной призмы: просадка, рихтовка, перекося и уровень) могут характеризовать эффективность скреплений лишь в зимний период, когда балласт смерзается и не представляется возможность выправки пути машинными комплексами и средствами малой механизации. Таким образом, работы, направленные на борьбу с отступлениями в профиле, связанные с эксплуатацией скреплений, осуществляются лишь в период замерзания балласта.

2.3 Влияние повышенной осевой нагрузки

Под тяжеловесным движением подразумевается технологический процесс организации движения грузовых поездов с массой состава 6300 т и более, имеющих в составе вагоны с нагрузкой на ось 23,5, 25 тс и более [55].

Для оценки влияния вертикальных сил от колесных пар вагонов с повышенной осевой нагрузкой был выбран участок пути особогрузонапряженной линии в направлении Среднесибирская-Иртышская. На рисунке 2.14 представлена

доля тяжеловесного движения на данном пути за 2019 год. В части вагонов с повышенной осевой нагрузкой (более 235 кН) преобладают инновационные вагоны с осевой нагрузкой 250 кН (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Осевые нагрузки поездов с инновационными вагонами

Осевая нагрузка	Величина, кН
Максимальная	263
Минимальная	239
Средняя	243

В общем объеме движения средний вес поезда брутто составляет 6766,8 т, в то время как средний вес брутто тяжеловесных поездов составляет 8037,9 т. Максимальный вес брутто тяжеловесного поезда составляет 9000 т, а минимальный 6450 т.

С учетом того, что реализация тяжеловесного движения в данном направлении началось в 2015 году, видно, что за пять лет доля тяжеловесного движения достигла более половины от общего объема грузового движения (рисунок 2.13).

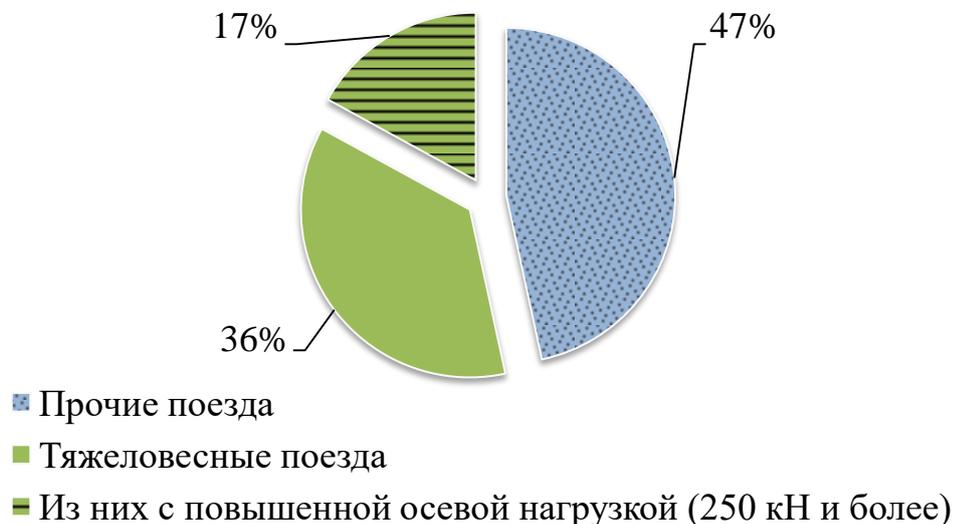


Рисунок 2.14 – Доля тяжеловесных поездов по I-му пути направления Иртышская-Среднесибирская на 2019 год

Наиболее распространенным является грузовой поезд весом 7000 т, но также встречаются поезда весом 8000 и 9000 т. Стоит отметить долю поездов, в составе которых включены вагоны с повышенной осевой нагрузкой (250 кН и более), которая составляет 17 %.

Таким образом, наличие большой доли тяжеловесного движения по одному из главных путей направления Иртышское-Среднесибирская влияет на общее техническое состояние железнодорожного пути, а в условиях высокой интенсивности движения поездов перед путевым хозяйством встает острая необходимость в решении вопроса организационной составляющей текущего содержания пути.

Для оценки влияния повышенной осевой нагрузки на состояние ГРК на участке Среднесибирского хода (Каменская дистанция пути) в ноябре 2019 года автором был заложен тензометрический комплекс с целью выявления вертикальных сил и напряжений, передаваемых от колесных пар поездов на рельс [92].

Тензометрический комплекс включает в себя пары тензометрических датчиков с сопротивлением 200 Ом, типа 2 ФКП-10-200-А-12-С, закрепленных на линии влияния рельса и на кромке подошвы как с внутренней стороны, так и с наружной. Датчики устанавливались в середине двух шпальных ящиков с целью исключить влияние реакции подрельсовых опор. В работе [17] обоснована возможность использования данного способа для выявления вертикальных сил, а также представлено специализированное устройство для калибровки измерительного участка.

Схема установки тензорезисторов представлена на рисунке 2.14, а общий вид измерительного участка на рисунке 2.15.

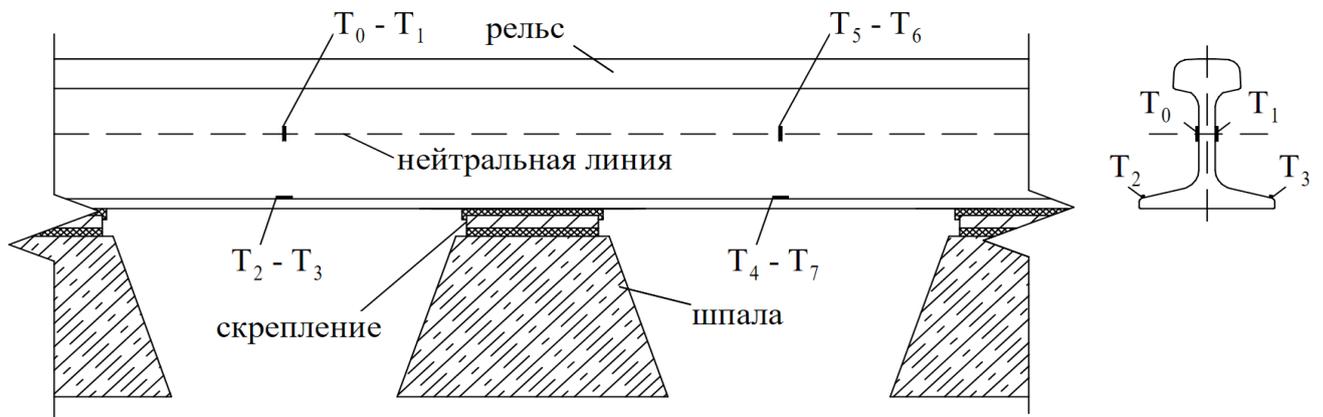


Рисунок 2.14 – Схема измерительного участка

T_a-T_b – пара тензорезисторов, где a, b – номера каналов тензосистемы



Рисунок 2.15 – Фотография измерительного участка

Для обработки и расшифровки данных применялся комплекс измерительный микропроцессорный быстродействующий тензометрический «Динамика-3». Принцип действия данного комплекса основан на системной организации совместной автоматизированной работы средств измерений, сбора, обработки, передачи и представления измерительной информации параметров электрической цепи [86].

В таблице 2.5 представлены характеристики поездов, при проходе которых обрабатывались результаты измерений, со средней скоростью движения поездов от 50 до 60 км/ч.

Таблица 2.5 – Характеристики поездов

Характеристика	Поезда А	Поезда Б
Тип локомотива	ВЛ80 ^С	1,5ВЛ80 ^С
Средний вес поезда брутто, т	7960	6250
Среднее количество вагонов в составе, шт.	85	64
Средняя осевая нагрузка вагонов, кН	230	244

Стоит отметить, что в составе поездов Б находились инновационные вагоны с осевой нагрузкой до 250 кН. Результаты регистрации сигналов (приращений электрического сопротивления) с тензометрических датчиков обрабатывались в измерительном блоке комплекса.

В качестве примера на рисунках 2.16 и 2.17 представлены графики регистрации сигналов, где отчетливо видны изменения приращения электрического сопротивления в тензорезисторах при проходе поезда. Каждый график дает информацию в виде сигнала об изменении сопротивления определенного тензорезистора, номер которого закреплен каналом (рисунок 2.14).

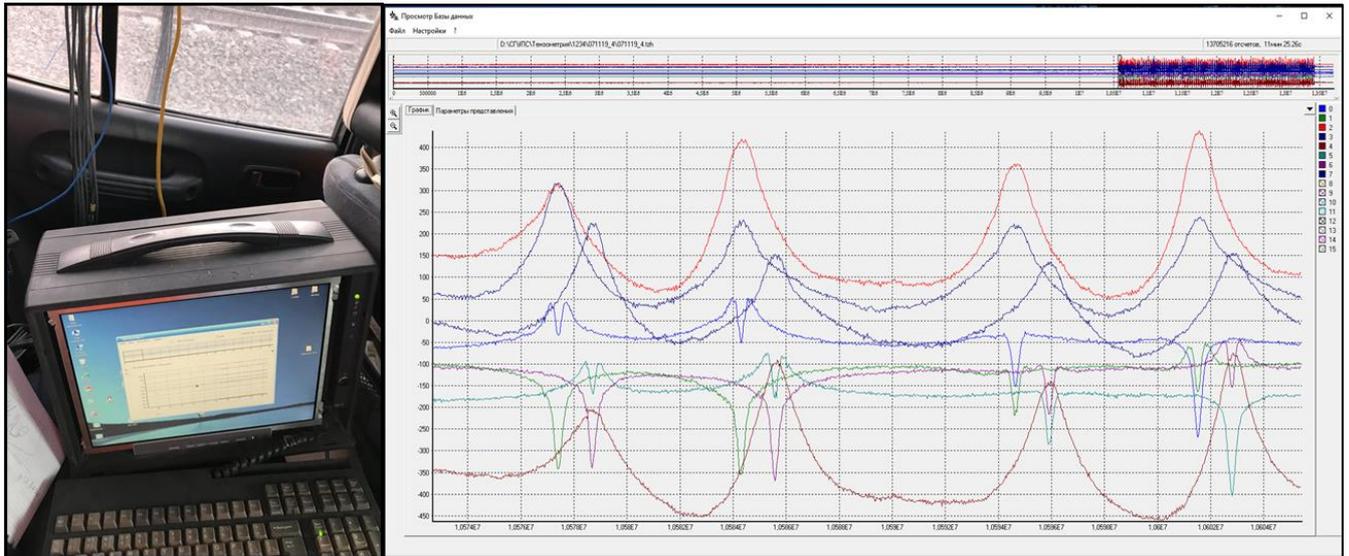


Рисунок 2.16 – Полевая работа в измерительном комплексе «Динамика-3»

Так как статическая нагрузка от колес локомотива известна, путем ее сравнения с полученными значениями нагрузок от колес вагонов, определялись фактические значения вертикальных сил.

Так вертикальную силу на одну рельсовую нить от локомотива можно представить как:

$$P_i = \frac{m}{2} \cdot g = k \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon_i, \quad (2.2)$$

где m – масса локомотива, кг;

g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$;

k – коэффициент перехода от перемещений к вертикальным силам;

ε_i – перемещение тензодатчика от вертикальной силы i -го колеса, из полсуммы показаний пары тензодатчиков, у.е.

В свою очередь коэффициент перехода определялся как:

$$k = \frac{m}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon_i. \quad (2.3)$$

Таким образом, вертикальная сила, передающаяся от колеса вагона на рельсовую нить, определялась как:

$$P_i = k \cdot \varepsilon_i \cdot g. \quad (2.3)$$

Значения напряжений в кромках подошвы определялись путем калибровки тензометрического комплекса с помощью магазина сопротивлений.

В результате обработки результатов измерений автором выявлены максимальные, минимальные и средние вертикальные силы и напряжения в кромках подошвы рельса, а также среднеквадратическое отклонение значений вертикальных сил (СКО), которые представлены в таблице 2.6.

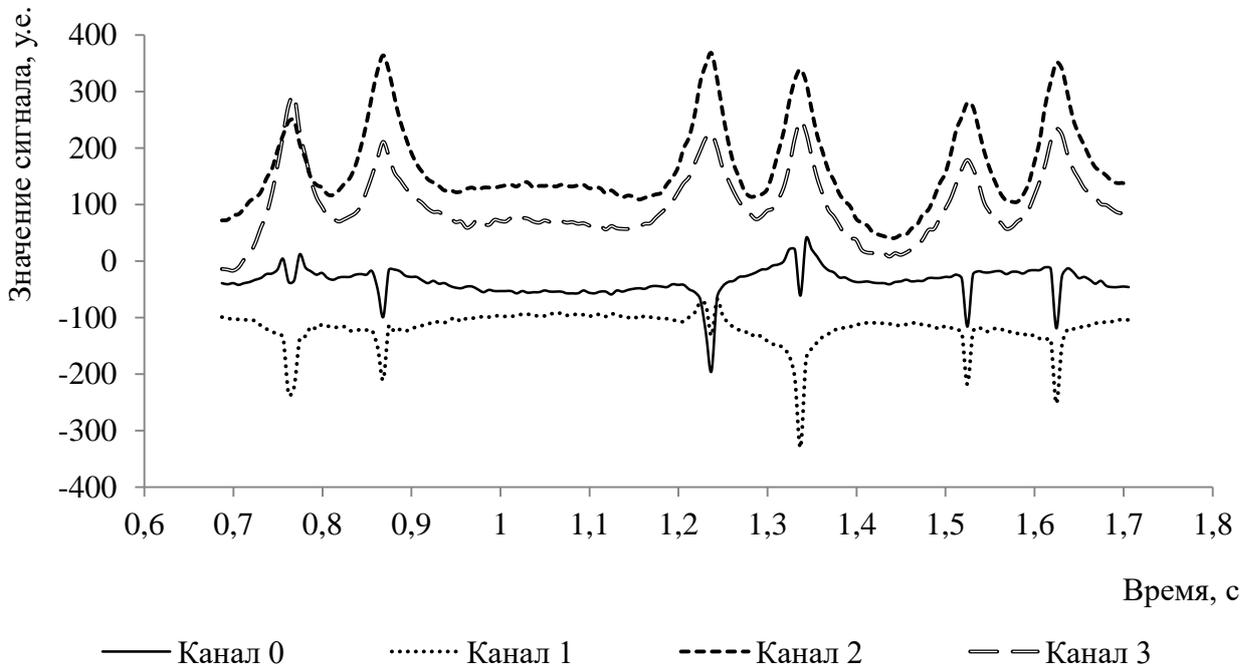


Рисунок 2.17 – График регистрации сигналов по каналам 0 – 3

Таблица 2.6 – Результаты измерения вертикальных сил и напряжений

Параметр	Поезда А	Поезда Б
СКО вертикальных сил, кН	9,89	11,31
Максимальная сила, кН	139,13	144,03
Минимальная сила, кН	84,60	91,82
Среднее значение сил, кН	110,37	115,30
Максимальное напряжение в кромках подошвы, МПа	46,20	51,34

Разница средних значений вертикальных сил между поездами А и Б незначительна (на разницу осевой нагрузки в 4,5 % приходится увеличение на 4,47 % от средней вертикальной силы). Максимальные значения вертикальных сил и напряжений при осевой нагрузке 244 кН возрастают в среднем на 3,5 % и 11 % соответственно. В обработке использовались среднеарифметические значения полученных сил от сигналов T_{0-1} и T_{5-6} . Также выявлены значения, которые выбиваются из общего порядка (например, 196 кН) после анализа, было

определено, что данные вертикальные силы появились вследствие воздействия колес с наличием дефекта [102] (рисунок 2.18).

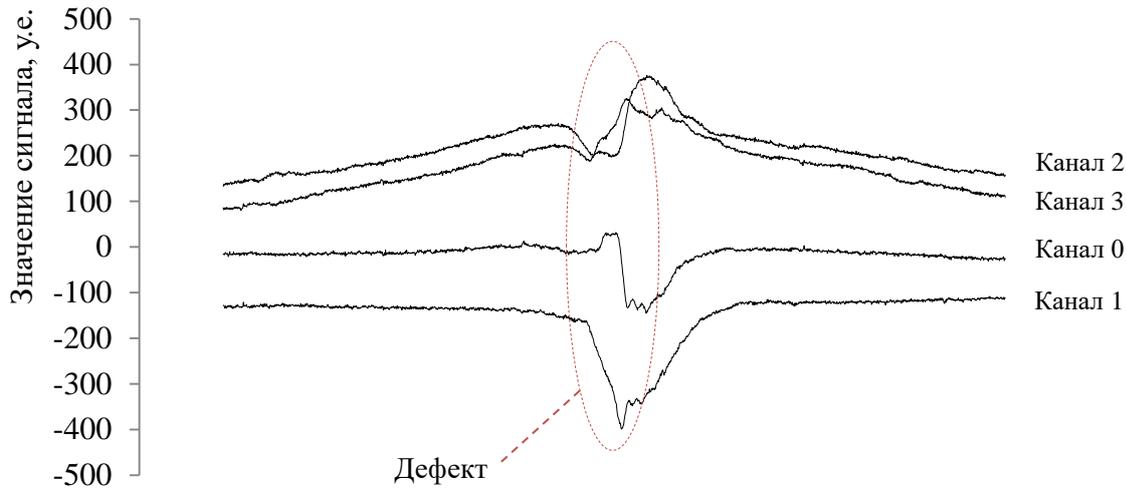


Рисунок 2.18 – Пример сигнала вертикальной силы по причине дефектности колеса

На рисунке 2.19 представлена гистограмма распределения вертикальных сил в зависимости от осевой нагрузки, полученных в результате обработки сигналов.

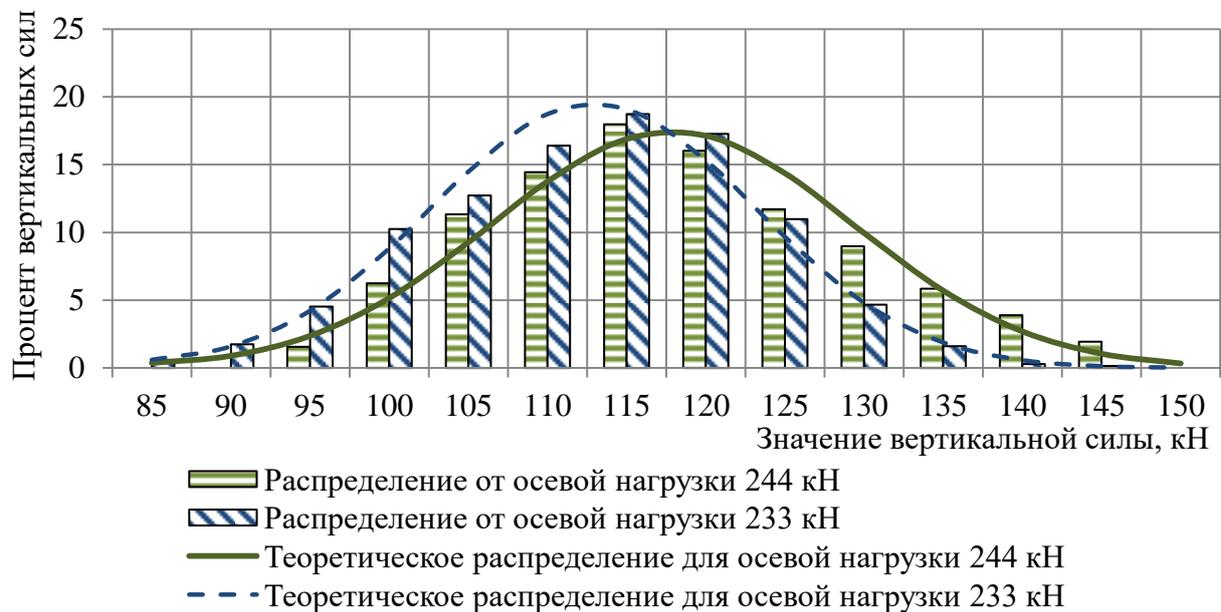


Рисунок 2.19 – Распределение вертикальных сил в зависимости от осевой нагрузки

Обе выборки отвечают гипотезе о нормальном распределении. На гистограмме видна разница в вероятности распределения вертикальных сил: начиная с величин свыше 125 кН значения вертикальных сил от осевых нагрузок

233 кН и 244 кН разнятся. Процентное соотношение разницы в распределении вертикальных сил представлено на рисунке 2.20.

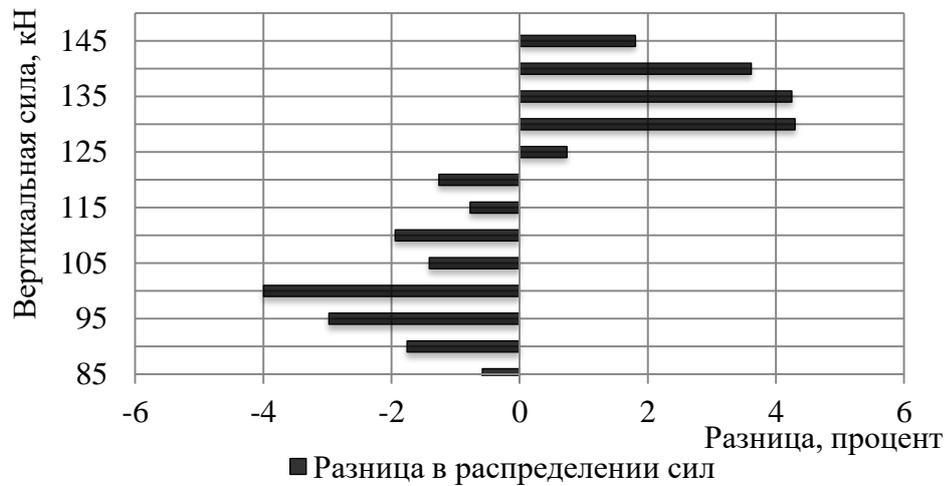


Рисунок 2.20 – Разница в распределении вертикальных сил между осявыми нагрузками 233 кН и 244 кН

При осевой нагрузке в 244 кН вертикальные силы по сравнению с силами от осевой нагрузки 233 кН увеличиваются на 14 % в диапазоне от 125 кН до 145 кН.

Подобное распределение приводит к повышенным динамическим нагрузкам от подвижного состава, что ускоряет процесс износа и истирания балластных частиц. В результате этого процесс загрязнения щебня и образование пустот в подшпальном пространстве ускоряется, что отражается на состоянии геометрии рельсовой колеи. Таким образом, проблема в текущем содержании пути, выраженная как в отказе элементов верхнего строения пути, так и повышенном количестве отступлений по геометрии рельсовой колеи, связана с ростом объемов работ по причине увеличения воздействия на элементы железнодорожного пути поездов с повышенной осевой нагрузкой (250 кН и более).

Проведенный автором эксперимент позволяет оценить изменение в распределении вертикальных сил от колесных пар вагонов с повышенной осевой нагрузкой, что в свою очередь оказывает повышенное воздействие на элементы верхнего строения пути, в частности подшпальное основание, состояние которого напрямую оказывает влияние на геометрию рельсовой колеи.

Выводы по главе

Выполнена оценка влияния сложных климатических и эксплуатационных условий на примере особогрузонапряженных участков Сибири. Сложные условия эксплуатации в первую очередь проявляются в повышении отказов элементов верхнего строения пути, интенсивному расстройству ГРК в весенние периоды, и повышенной снегозаносимостью в зимнее время. Это существенным образом сказывается на общих трудозатратах, в результате чего образуется «очередь» на выполнение работ, которая отражается на состоянии ГРК.

На всех участках выявлено существенное влияние неравномерного оттаивания подшпального основания на отступления в профиле (перекосы и просадки). Наибольший рост количества данных отступлений в весенний период по сравнению с началом года произошел при пропуске тоннажа свыше 710 млн. т бр. В случае просадки количество отступлений увеличилось в 6,2–16,9 раз в зависимости от типа ПРС и среднего радиуса кривой. Среднее значение отступлений по перекосу возросло в 2,3–2,9 раз. На отступления по уровню, и в плане (рихтовка) влияние периода неравномерного оттаивания подшпального основания незначительно.

Анализ состояния геометрии колеи на участках позволил выявить ряд закономерностей. С увеличением доли кривых и уменьшением радиуса увеличивается среднее количество отступлений. При сравнении участков со скреплением ЖБР-65 в зависимости от радиуса и доли кривых, среднее количество отступлений за весь исследуемый период в 1,5 раза больше на участках с меньшим радиусом. Увеличение количества отступлений приходится именно на ширину колеи (рост уширения в 1,9 раз) и отступления в плане (рост в 1,7 раз), в то время как количество отступлений в профиле увеличилось незначительно (рост перекоса – 1,25, просадки – 1,2, уровня – 1,003).

На всех участках динамика отступлений по ширине колеи в значительной степени увеличилась на восьмой – девятый год эксплуатации, при пропуске тоннажа 650 – 750 млн. т брутто, что связано с нарастанием бокового износа рельсов, а также изношенностью элементов скреплений. При несвоевременной

замене элементов рельсового скрепления появляются локальные отступления высокой протяженности (на ряде километров количество отступлений по уширению составляло свыше 30 шт., при длине от 3 до 12 м). Данные работы на кривых участках пути необходимо проводить сплошную на всем участке кривой, для исключения появления отступлений на соседних местах.

Во многом на эффективность технического обслуживания ГРК влияет тип и состояние ПРС. Причем при различных условиях эксплуатации эффективность того или иного скрепления различается. Анализ эффективности ПРС показал, что при заданных условиях наиболее эффективными являются скрепления КБ-65 для прямых и кривых участков пути с радиусом более 500 м, а для кривых участков пути радиусом менее 500 м скрепление ЖБР-65Ш. Причем в ходе работы было выявлено, что на данных скреплениях имеется большой процент отступлений по ширине колеи (30–39 % у скрепления КБ и 47–49 % у скрепления ЖБР-Ш). Из чего следует, что для обеспечения безопасности движения поездов и сокращения трудозатрат на устранение отступлений необходимо своевременно проводить работы по замене изношенных элементов ПРС. Для снижения количества отступлений по ширине колеи рекомендуется использование подкладочных модификаций скрепления ЖБР-65 (ЖБР-ПШ, ПШМ, ПШР). Также стоит иметь в виду, что при прогнозировании объемов трудозатрат и сроках проведения предупредительных работ следует учитывать как радиус и протяженность кривого участка пути, так и тип ПРС.

Экспериментальные измерения воздействия вагонов с повышенной осевой нагрузкой (250 кН) показали, что при увеличении осевой нагрузки на 4,7 % средние вертикальные силы в прямых участках пути увеличиваются на 4,5 %, а максимальные на 3,5 %.

В то же время в диапазоне от 125 до 145 кН замечено увеличение вертикальных сил на 14 %, что существенно влияет на состояние элементов железнодорожного пути, в первую очередь, на состояние элементов скреплений и подшпальное основание, что приводит к увеличению интенсивности отступлений в профиле (просадка и перекося).

Таким образом, при планировании и организации текущего содержания пути особое внимание следует уделять внимание как типу ПРС, так и общему состоянию рельсовой колеи и условиям их эксплуатации (пропущенный тоннаж, осевая нагрузка, план линии, сезон года). Исходя из приведенных исследований видно, что сложные климатические условия имеют существенное влияние на организацию работ по содержанию геометрии рельсовой колеи. Помимо этого различные условия эксплуатации на особогрузонапряженных участках, выраженные осевой нагрузкой, планом линии, типом ПРС, наличием мест временного восстановления, локальными загрязнениями балласта, а также высокой интенсивностью движения поездов на особогрузонапряженных участках в значительной степени усложняет процесс организации и планирования производственного процесса содержанию рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам.

3 МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПЛАНИРОВАНИЮ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА СОДЕРЖАНИЯ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

В настоящее время моделирование является неотъемлемой частью изучения любого процесса, который рассматривается с точки зрения выявления оптимальных параметров, прогнозирования и принятия решений о необходимости каких-либо работ. Одной из основных задач при моделировании является определение оптимальных параметров рассматриваемой системы. Иными словами, основной математической задачей оптимизации является определение таких значений переменных, при которых значение целевой функции будет наибольшим (наименьшим) из возможных.

Согласно принципу дифференциации производственный процесс содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам разделяется на ряд технологических работ и операций в рамках текущего содержания и технологический процесс ППВ. Работы в рамках текущего содержания выполняются бригадами монтеров пути на линейных участках за счет работ, направленных на приведение геометрии рельсовой колеи в нормативное состояние. Использование тех или иных технологических карт для выполнения соответствующих работ зависит от вида неисправности (отступления), типа ПРС, а также состояния подшпального основания. В общем виде можно выделить три группы работ, для приведения основных геометрических параметров рельсовой колеи к нормативным значениям. Первая – выправка пути в профиле, основной задачей которой является регулировка рельсовых нитей по уровню, а также устранение просядок и перекосов. Выправка пути может выполняться в зависимости от состояния подшпального основания как за счет подбивки шпал электроподбойками (ЭШП), так и за счет укладки регулировочных прокладок. Вторая – выправка пути в плане, отвечающая за устранение рихтовок пути, в период нормального состояния подшпального основания (незамерзшего) выправка осуществляется с применением гидравлических инструментов

посредством сдвижки рельсошпальной решетки. В период замерзшего подшпального основания устранение рихтовок возможно только за счет перешивки рельсовых нитей. К третьей группе работ по текущему содержанию рельсовой колеи относится регулировка ее ширины, для устранения уширения и сужения, независимо от состояния подшпального основания, а также устранения отступлений в плане в период зимней эксплуатации. Для сокращения объемов работ по текущему содержанию в части ГРК осуществляется восстановление равноупругости подшпального основания за счет ППВ. Основной работой в данном случае является выправка пути машинными комплексами.

3.1 Закономерности развития отступлений по геометрии рельсовой колеи

3.1.1 Физическая модель изменения состояния геометрии рельсовой колеи

Состояние геометрии рельсовой колеи оценивается по основным и дополнительным параметрам. Принято, что под основными параметрами ГРК понимается отступление от нормативных параметров устройства и содержания рельсовой колеи, в частности отступления в профиле, в плане и по ширине колеи. Необходимо разделять данные отступления в зависимости от причин и характера их развития. Однозначно, что на их зарождение и дальнейшее развитие основное влияние оказывают эксплуатационные и климатические условия, но помимо этого существует влияние локальных расстройств и особенностей участка.

В общем виде развитие отступления зависит от основных и дополнительных условий. Основными являются эксплуатационные параметры (средняя осевая нагрузка, план линии и тип ПРС). В то время как влияние дополнительных условий эксплуатации проявляется в зависимости от их наличия.

К дополнительным условиям, оказывающие влияние на динамику развития отступлений относятся:

- наличие пучинного места;
- неравномерное изменение состояния подшпального основания (промерзание и оттаивание);

- наличие выплеска;
- наличие стыка (места временного восстановления);
- наличие дефектных (изношенных) элементов ПРС;
- состояние балластной призмы (наполнение шпальных ящиков и ширина балластной призмы).

Так наличие локального загрязнения балласта (выплеска) (рисунок 3.1) увеличивает скорость развития отступлений в профиле, наличие водопропускных труб способствует развитию данных отступлений в этой зоне в период межсезонья (поздней осенью и весной) за счет неоднородного промерзания и оттаивания подшпального основания, в частности пучин.

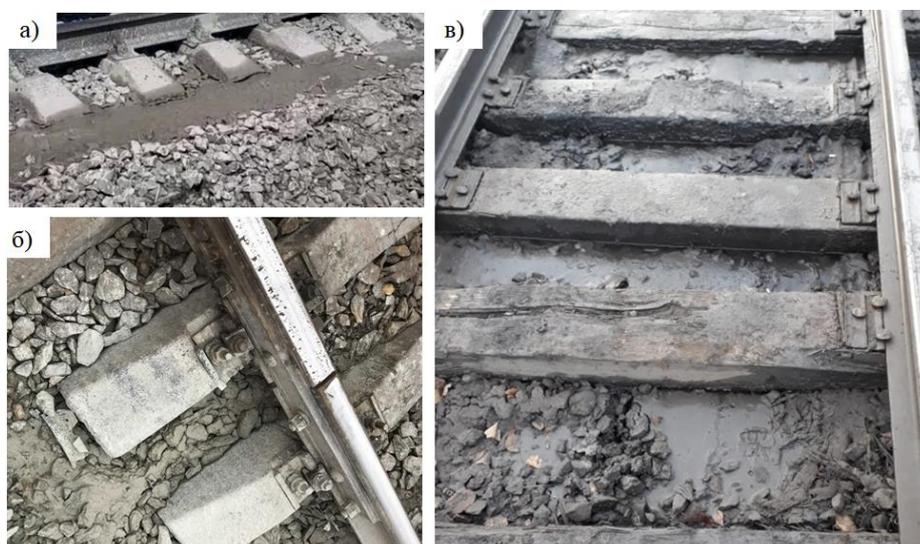


Рисунок 3.1 – Пример грязевых выплесков: а) в плече балластной призмы; б) в месте временного восстановления; в) сплошной выплеск

В местах переменной жесткости у подходов к мостам вследствие повышенного динамического удара, вероятность появления просадок и перекосов значительно выше [5]. Локальные дефекты и деформации земляного полотна (балластное ложе, корыто) приводят как к отступлениям в профиле, так и в плане, по причине снижения сопротивления поперченному сдвигу рельсошпальной решетки вследствие осыпания балласта в шпальных ящиках [10, 11, 12]. Для бесстыкового пути отступления в плане несут повышенную опасность в летний период [4, 100], в местах, где происходит деформация плеча балластной призмы в кривых участках пути. Также существует вероятность возникновения рихтовок

при проходе поезда по месту с просадкой, вследствие боковых сил и вертикального перемещения рельса.

Развитие отступлений по ширине колеи (уширение и сужение) имеют прямую зависимость как от величины бокового износа рельса (рисунок 3.2), так и от состояния креплений (рисунки 2.12 и 2.13).

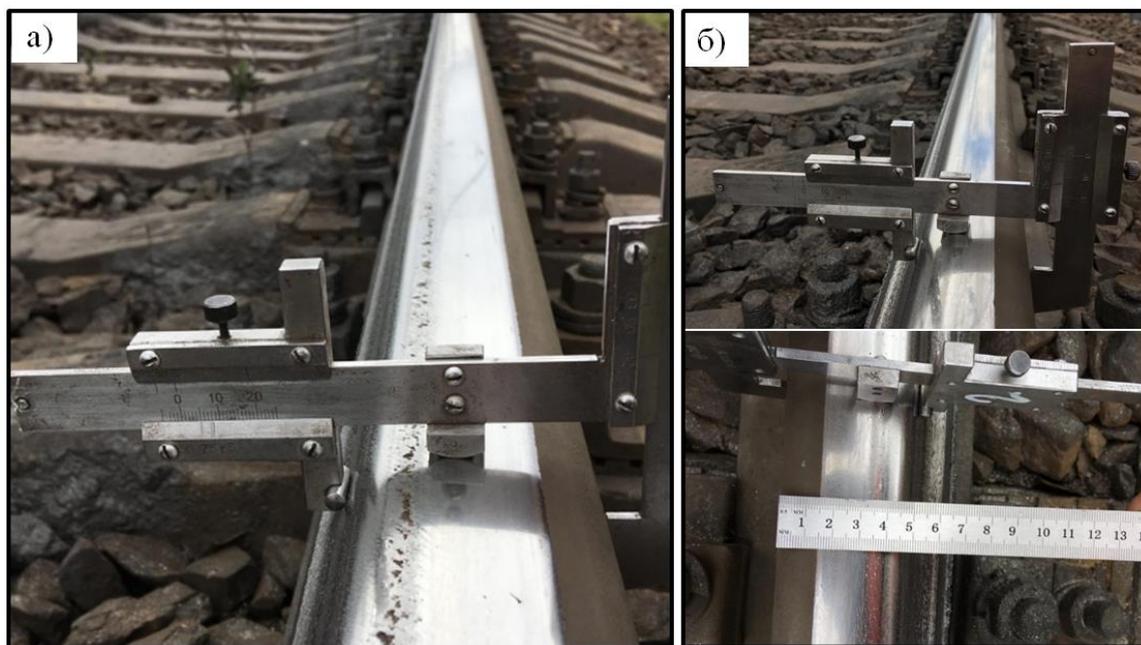


Рисунок 3.2 – Пример бокового износа в кривом участке пути: а) величиной 9 мм;
б) величиной более 15 мм

В частности, при наличии люфтов и зазоров в элементах креплений уширение появляется при проходе колесной пары. В таких случаях выявить подобные отступления возможно лишь при проходе путеизмерительного вагона. Промеры путевыми шаблонами не позволят определить точное место без детального осмотра узла крепления [99]. Изношенность и дефектность элементов креплений и шпал приводят к уширению, поэтому необходимо периодически проводить осмотр данных элементов верхнего строения пути.

Зарождение отступлений по ширине колеи, в частности по уширению, так как наиболее распространен именно этот вариант, объясняется постепенным износом рабочей выкружки рельса в точке соприкосновения колеса и рельса. Вместе с этим вследствие воздействия боковых и вертикальных сил происходит постепенный износ элементов креплений. Износ подкладок и прокладок под подкладку в случае подкладочного крепления, а также упорных скоб и

регулирующих прокладок в случае бесподкладочного, приводят к смещению рельса под действием сил, передающихся от поезда, что выражается уширением рельсовой колеи.

Отдельной проблемой на шурупном бесподкладочном скреплении в кривых выступает шуруп, который может изнашиваться под действием значительных боковых сил. Состояние шпалы в зоне узла скрепления также влияет на общее сопротивление отступлениям по ширине колеи. Вследствие динамического воздействия от поезда при отсутствии или неисправности прокладок в торцевой зоне соприкосновения подкладки (скобы) и шпалы происходит постепенный износ и деформация шпалы, что также отражается на возможности развития отступления.

Исходя из всего этого, основными параметрами, влияющими на скорость развития отступлений по ширине колеи, выступают величина нагрузки, передающийся от поезда, радиус кривой, грузонапряженность (пропущенный тоннаж) и конструкция пути. В случае нагрузки от поезда весомое значение имеет именно осевая нагрузка, которая определяет величину как вертикальной, так и боковой силы. Величина радиуса определяет возвышение наружного рельса, направленное на погашение центробежной силы, возникающей в кривой, при меньших радиусах данная сила возрастает [16], как и износ элементов верхнего строения пути. Грузонапряженность влияет на интенсивность износа и может выражаться пропущенным тоннажем, с ростом которого увеличивается вероятность зарождения, а в дальнейшем развития отступления.

В части отступлений в профиле стоит понимать, что существует как остаточные деформации подшпального основания, во многом приводящие к длинным неровностям в профиле, так и локальные, в частности уровень, перекося, просадка. Если в случае общей деградации параметров продольного профиля прогнозирование возможно осуществлять с помощью СКО на километре (пикете), то локальные отступления тяжело поддаются прогнозу вследствие влияния отдельных параметров и выявляются уже при фактическом наличии. При отсутствии существенного влияния дополнительных параметров (пучение,

временное восстановление, весеннее неравномерное оттаивание подшпального основания, выплески, дефекты земляного полотна) использование СКО для прогнозирования отступлений на пикете позволяет определить сроки для назначения планово-предупредительных работ во избежание появления отступления.

Отступления в профиле (уровень, перекося и просадка) в большей степени связаны с состоянием балластного слоя. В случае ухудшения состояния балластного слоя изменяется его жесткость, в результате чего происходит неоднородное распределение нагрузки. С ростом пропущенного тоннажа происходит истирание частиц балласта. С учетом постепенного загрязнения балласта и изменения плотности пустот между частицами балласта происходит локальная осадка рельсошпальной решетки.

Просадки характерны в местах повышенного динамического воздействия. Наиболее распространенным местом является рельсовый стык, так как в нем происходит удар при переходе колеса через зазор. В случае рельсовой плети наиболее частым местом образования просядок является место временного восстановления.

Для отклонений по уровню и перекосям нет определенных характерных мест. Данные отступления развиваются в зависимости от ухудшений балластного слоя и динамического воздействия. Отдельным фактором, влияющим на развитие отступлений в профиле, выступают климатические условия, так как жесткость подшпального основания в значительной степени зависит от температурных условий. Летний период эксплуатации характеризуется высокой упругостью балласта, когда зимой происходит промерзание подшпального основания, что снижает его упругость. Для участков Сибири зимний период можно ограничить с конца ноября по март, а период стабильного состояния подшпального основания с середины июня по ноябрь. Наиболее неблагоприятный период приходится на весну, с апреля по начало июня происходит постепенное оттаивание подшпального основания, причем неравномерное. Именно в этот момент наблюдается повышенное количество отступлений в профиле.

Особую сложность вызывает то, что дополнительные условия могут проявляться с определенной вероятностью, а период их влияния ограничивается продолжительностью их наличия.

В качестве примера влияния дополнительных условий на рисунке 3.3 представлен фрагмент диаграммы уровня возвышения наружного рельса в кривом участке пути (I путь направления Иртышская-Среднесибирская, радиус кривой – 1060 м). На данном участке с февраля по май 2018 года не наблюдалось существенных изменений состояния ГРК в продольном уровне. В период весеннего оттаивания подшпального основания произошла неоднородная осадка, что привело к резкому изменению уровня рельса, а впоследствии к образованию перекосов пути в количестве 4 шт.

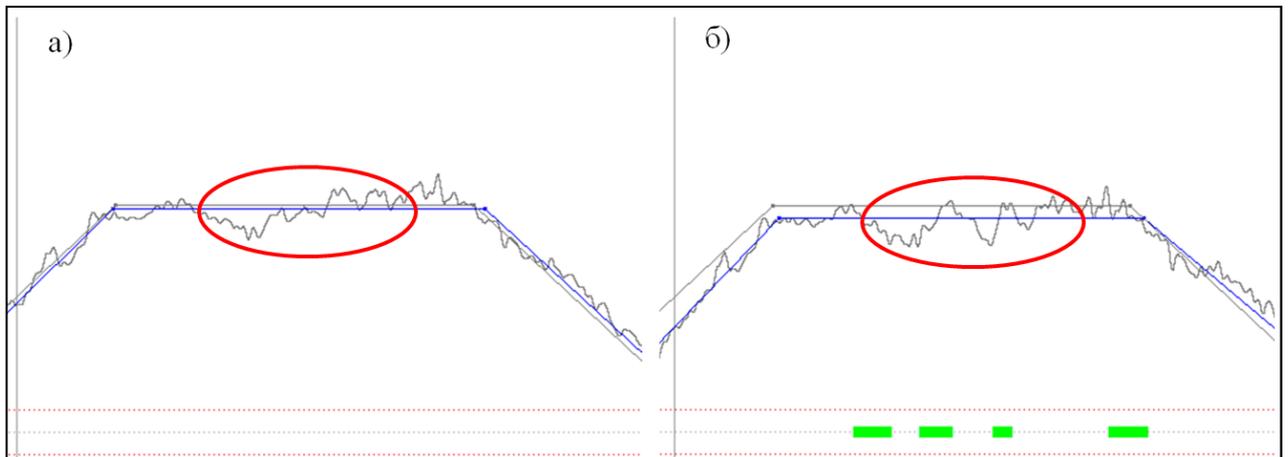


Рисунок 3.3 – Пример резкого изменения уровня возвышения наружного рельса:
а) по состоянию на 20.04.2019 г.; б) по состоянию на 05.05.2019 г

Подобные резкие изменения состояния подшпального основания существенным образом влияют как на безопасность движения поездов, так и на общие трудозатраты линейного участка в весенний период.

Таким образом, на вероятность и интенсивность развития отступлений в профиле большое влияние оказывает величина пропущенного тоннажа, осевая нагрузка, тип ПРС, климатические условия, а также отдельные локальные расстройтва.

Состояние балласта также во многом определяет вероятность возникновения отступлений в плане. Наиболее вероятное появление рихтовки

приходится на кривые участки. Боковые силы увеличиваются пропорционально радиусу кривой, что оказывает определяющее влияние на развитие рихтовки. Зачастую, недостаточная ширина плеча балластной призмы, либо полупустые шпальные ящики не позволяют обеспечить достаточное сопротивление поперечному сдвигу. Следовательно, на развитие отступлений в плане влияют грузонапряженность, осевые нагрузки, радиус кривой, конструкция пути и климатические особенности.

3.1.2 Прогнозирование состояния геометрии рельсовой колеи

В части прогнозирования отступлений по ширине колеи немаловажным фактором является определения интенсивности бокового износа, на что влияет ряд параметров, в частности осевая нагрузка, категория рельсов, план линии. Наравне с боковым износом существенное влияние оказывает тип и состояние ПРС, особенно в период достаточно длительной эксплуатации (после пропуска тоннажа свыше 500-600 млн. т брутто).

Большой вклад в изучении вопроса прогноза отступлений по ширине колеи внесли ученые В. О. Певзнер и Н. И. Карпущенко. В частности, для прогнозирования уширения в настоящее время наилучшим образом представляется эмпирическая зависимость, разработанная Н. И. Карпущенко (таблица 1.3), которая позволяет осуществлять прогноз ширины колеи в конкретный промежуток времени, выраженный в пропущенном тоннаже и определять сроки назначения планово-предупредительных работ по регулировки ширины колеи.

В части прогнозирования отступлений в плане и профиле особое внимание стоит уделять не только общим зависимостям развития отступлений от величины пропущенного тоннажа, типа ПРС, осевой нагрузки и плана линии, но и состоянию балластной призмы. В частности, необходимо обеспечивать достаточный уровень балласта в шпальных ящиках и в плече балластной призмы для предупреждения развития отступлений в плане. Локальное загрязнение

балласта, а также неравномерная осадка подшпального основания привносят существенный вклад в развитие и нарастание отступлений в профиле.

В части прогнозирования отступлений в плане и профиле необходимо отметить таких ученых, как А. Н. Акашов, Г. П. Бредюк, В. М. Ермаков, В. С. Коссов, В. О. Певзнер, Г. К. Щепотин, J. Sadeghi, H. Guler, J Chiachio, H. Khajehei. Несмотря на обширный объем исследований в данном вопросе, наиболее распространен и введен в использования в рамках диагностики и мониторинга ГРК на ОАО «РЖД» метод определения среднеквадратического отклонения от нормативных значений (СКО), в частности, для отступлений по уровню, просадкам, в плане и ширине колеи. Стоит отметить, что подобная методика активно используется на зарубежных железных дорогах для определения необходимого объема работ, как неотложных, так и предупредительных.

Инструкция о порядке мониторинга параметров устройства и содержания пути по данным диагностических средств утверждена в 2012 году распоряжением ОАО «РЖД» №2762р [33] и содержит методику в соответствии с методологией УРРАН. Данная методика позволяет планировать содержание пути с обеспечением минимизации вероятности появления отказа или неисправности рельсовой колеи с учетом ограниченных ресурсов за счет определения соотношения допустимого риска и объемов планово-предупредительных работ [33].

Анализ изменений состояния пути проводится с использованием графической формы, которая позволяет определять пикеты с регулярно повторяющимися отступлениями.

В инструкции [33] представлены пороговые значения СКО параметров пути, на основании которых определяются величина расчетной скорости движения, соответственно СССП. Для определения СКО отступлений ГРК используется метод скользящих величин [33], в частности математическое ожидание (m) и непосредственно среднеквадратическое отклонение (σ),

вычисляемые последовательно на отрезке длиной 100 м со сдвигом на 20 м по формулам:

$$m_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j, \quad (3.1)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_j - m_i)^2} \quad (3.2)$$

где y – величина измеряемого параметра;

m_i – математическое ожидание измеряемого параметра;

i – измеряемый параметр (уровень, просадка, рихтовка);

j – порядковый номер измерения;

n – количество измерений.

Стоит отметить, что данная методика нацелена на выявление необходимого объема ППВ на основании фактического состояния пути, иначе говоря, аналогично стандартному реактивному планированию, которое нацелено на сокращение количества отступлений (снижения расстройств ГРК). В то время как плано-предупредительная выправка должна снижать вероятность возникновения отступлений и проводиться своевременно для сокращения трудозатрат на текущее содержание [114].

В данном случае подход с определением СКО параметров пути отдельно на пикетах наилучшим образом может применяться при планировании плано-предупредительных работ в рамках текущего содержания пути. На рисунке 3.4 представлен фрагмент обработки результатов оценки состояния пути путеизмерительными средствами, где указаны СКО отступлений для каждого пикета. При состоянии ГРК, которое приводит к существенному количеству отступлений (**38 км ПК 7), видно, что среднее значение СКО перекоса 2,92 мм соответствует трем отступлениям II степени, что требует проведения работ по их устранению. На соседнем пикете (**33 км, ПК 8) выявлен один перекос II степени при среднем значении СКО перекоса – 2,15 мм.

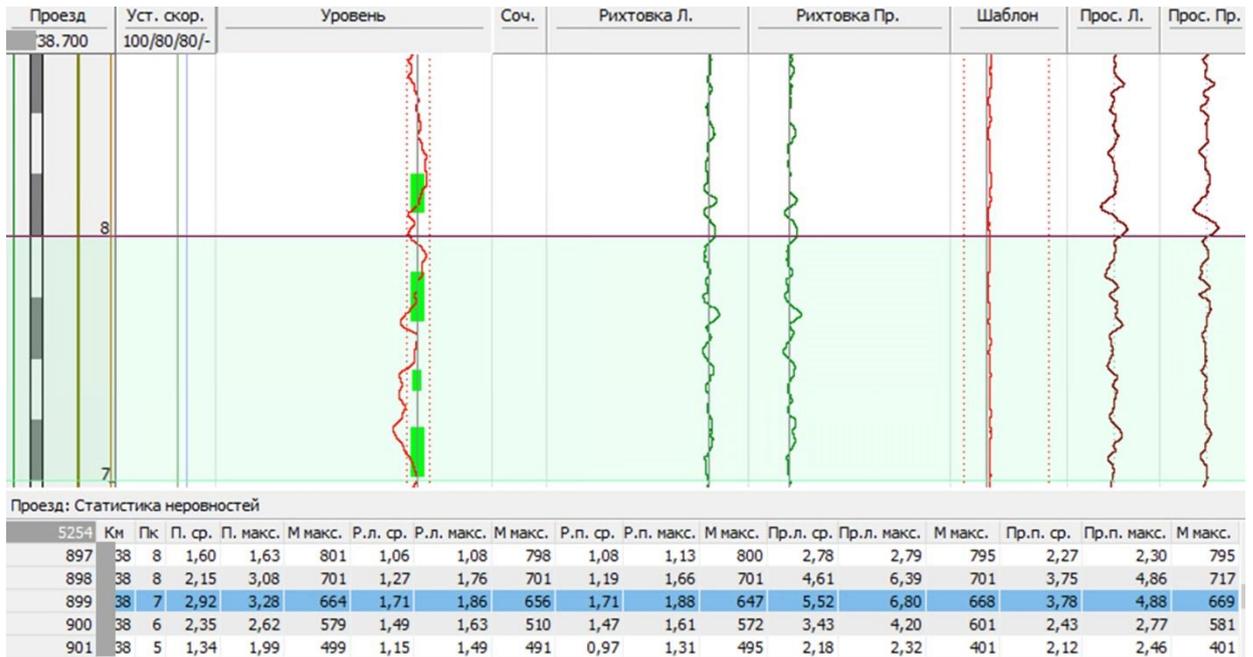


Рисунок 3.4 – Пример оценки состояния ГРК на пикете с использованием СКО неровностей (отступлений) на участке Среднесибирского хода:

На рисунке 3.5 представлен пример планирования работ с использованием СКО перекоса. Если принять, что при СКО свыше 2 мм существует вероятность развития отступления II степени, то для исключения вероятности развития двух перекосов на *07 км ПК 4 достаточно выполнить выправку 20 м.

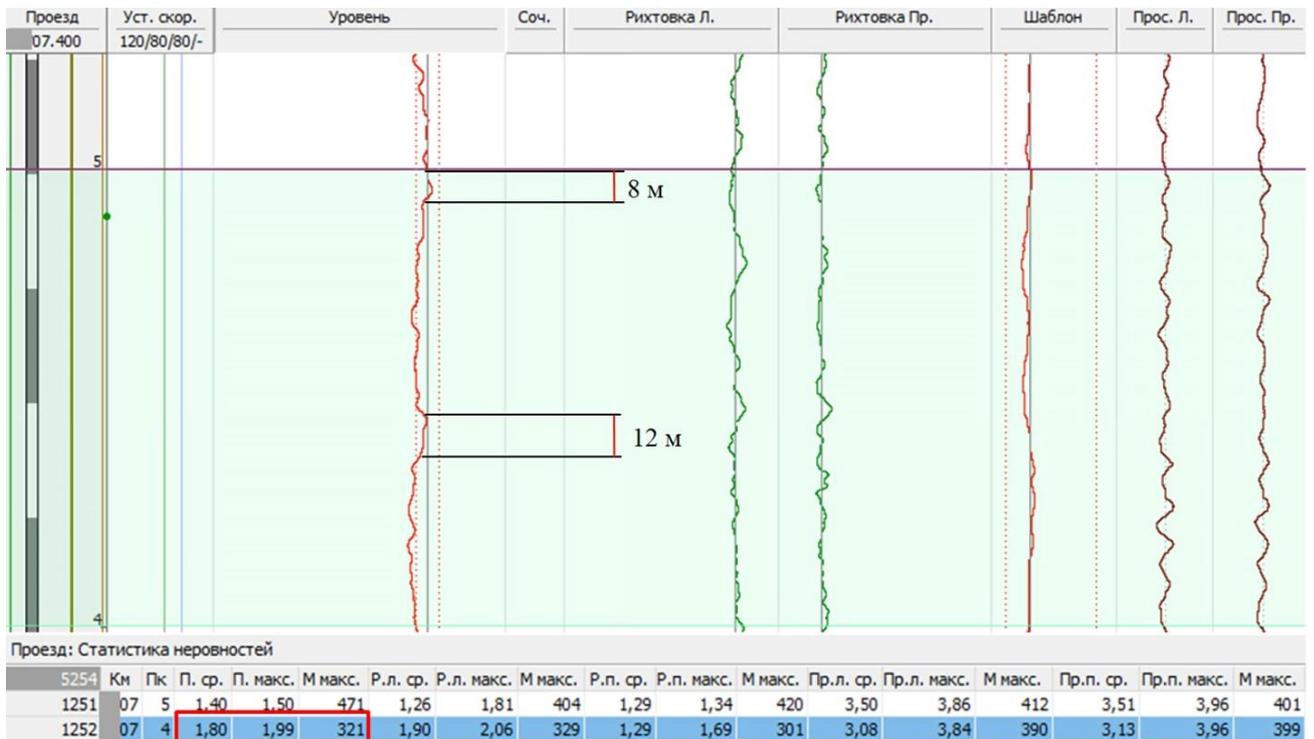


Рисунок 3.5 – Пример планирования работ по выправке пути с использованием СКО перекоса

Методика [33] позволяет осуществлять прогноз развития отступлений с заданной вероятностью. В таблице 3.1 представлены пороговые значения СКО перекосов для заданной вероятности с учетом установленной скорости движения, амплитуды и степени отступления.

Таблица 3.1 – Амплитуда перекоса в зависимости от значения СКО

Скорость, км/ч	Степень	Амплитуда, мм	Значение СКО перекоса, мм (при заданной вероятности)						
			0,5	0,75	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
61-120	II	10	2,23	2,04	1,89	1,81	1,68	1,64	1,55
		14	3,15	2,87	2,66	2,54	2,35	2,29	2,17
	III	16	3,62	3,29	3,04	2,91	2,69	2,62	2,48
	IV	20	4,57	4,14	3,82	3,65	3,37	3,28	3,10

Использование данной методики позволяет определять пороговые значения СКО, по которым необходимо содержать рельсовую колею, для предотвращения появления нежелательных отступлений. Вместе с тем, прогнозирование СКО на основе статистических данных дает возможность организовать плано-предупредительные работы для снижения вероятности появления отступлений II степени, за счет своевременного устранения отступлений I степени.

3.1.3 Влияние изменений в оценке состояния геометрии рельсовой колеи на характер планирования работ

Объем плановых трудозатрат устанавливается по результатам оценки состояния ГРК путеизмерительными вагонами, поэтому методика расшифровки и пороговые значения выявляемых отступлений существенным образом влияют на объем работ и качественную оценку состояния пути. До конца 2020 года основным нормативным документом, регламентирующим оценку состояния ГРК, являлась инструкция ЦП-515. С января 2021 года была введена инструкция, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» №436/р [34], которая заменила предыдущую и внесла значительные изменения в оценке состояния ГРК.

Для сравнения результатов оценки ГРК в зависимости от используемой инструкции был рассмотрен участок железнодорожного пути Западно-Сибирской железной дороги в пределах Среднесибирского хода [94]. Протяженность

двухпутного участка составила 191 км по каждому главному пути с установленной скоростью 120/80 км/ч. Грузонапряженность составляет 130 и 50 млн. т км брутто/км в год соответственно для I-го и II-го пути. Доля кривых радиусом менее 1200 м – 9,1 %, средний радиус 937 м. Основной тип промежуточного рельсового скрепления – ЖБР-65Ш (52,4 %) и КБ (46,7%).

На рисунке 3.6 представлена гистограмма распределения отступлений II степени на рассматриваемых участках за май 2019 года.

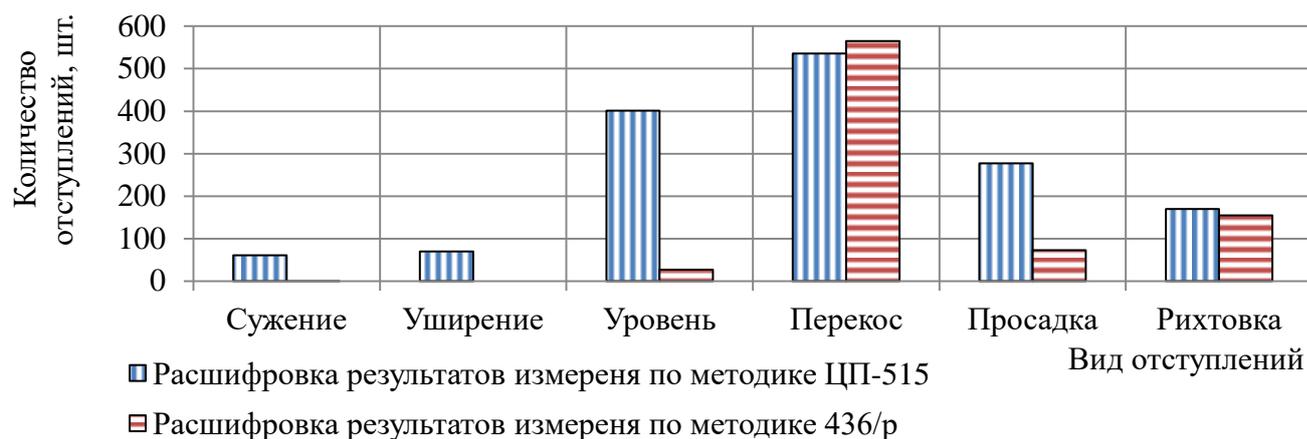


Рисунок 3.6 – Сравнение основных отступлений II степени в зависимости от методики расшифровки на участках Среднесибирского хода (длина 382 км)

Несмотря на сокращение общего количества отступлений, качественная оценка участков существенно не изменилась. В таблице 3.3 видно, что оценка линейных участков либо остается неизменной, либо ухудшается. Основными причинами ухудшения оценки состояния пути являются изменение в балловой оценке каждого отступления и учет дополнительных параметров, которые в значительной степени влияют на общую оценку.

Таблица 3.2 – Среднее количество отступлений на исследуемых участках

Номер пути	Среднее количество отступлений, шт./км						
	Сужение	Уширение	Уровень	Перекос	Просадка	Рихтовка	Всего
Согласно инструкции ЦП-515							
I путь	0,32	0,14	1,33	1,84	1,07	0,52	5,22
II путь	0,00	0,23	0,77	0,96	0,38	0,37	2,71
Согласно инструкции 436/р							
I путь	0,01	0,00	0,05	1,94	0,29	0,44	2,72
II путь	0,00	0,00	0,09	1,02	0,09	0,37	1,58
Сокращение отступлений, процент							
По I пути	98,36	100,00	96,46	-5,11	73,17	15,15	47,94
По II пути	-	100,00	87,76	-5,98	75,00	0,00	41,70

Согласно распоряжению 436/ р [34] при расшифровке результатов измерений учитываются величины бокового износа рельсов, стыковых зазоров, просадок в изолирующих стыках, а также несоответствие фактических параметров кривых участков пути проектным.

К параметру непогашенного ускорения добавился параметр соответствия фактического уровня рельса в кривой проектному (ПрУ), что значительно повлияло на общую оценку отдельных участков. Отдельно стоит отметить принципиальное изменение качественной оценки участков: за каждое отступление назначается балл в зависимости от длины и амплитуды отступления от нормативных значений, из суммы баллов за каждое отступление определяется оценка каждого километра [34].

Вместе с тем, изменение оценки отступлений по ширине колеи привели к снижению трудозатрат, так как отступления по ширине колеи общей протяженностью 311 м не требуют устранения в плановом порядке.

Таблица 3.3 – Оценка состояния ГРК по результатам измерений путеизмерительного вагона в зависимости от методики расшифровки

Направление	Номер линейного участка	Расшифровка по инструкции ЦП-515		Расшифровка согласно Распоряжению 436/р	
		Средний балл	Качественная оценка	Средний балл	Качественная оценка
Ир. – Ср.С	1	14	Отлично	2,3	Отлично
	2	45	Хорошо	13,1	Хорошо
	3	14	Отлично	3,5	Отлично
	4	27	Хорошо	12,9	Хорошо
	5	17	Отлично	4,3	Отлично
	6	24	Отлично	9,6	Хорошо
	7	23	Отлично	9,3	Хорошо
	8	21	Отлично	13,5	Хорошо
	9	18	Отлично	12,8	Хорошо
	10	63	Хорошо	50,1	Удов.
	11	12	Отлично	2,4	Хорошо

Изменение методики расшифровки результатов оценки состояния пути путеизмерительными вагонами согласно распоряжению 436/р существенно изменяет характер планирования работ. Повышение пороговых значений отступлений II степени по ширине колеи и просадкам позволяет высвободить

существенное количество трудозатрат, которые могут быть направлены на другие работы по текущему содержанию пути. Наблюдается сокращение отступлений (практически в 2 раза), но в то же время появляется необходимость проводить предупредительные работы для выполнения требований по дополнительным параметрам. Вместе с тем, изменение балловой оценки каждого отступления (в зависимости от величины и длины отступления) изменяет привычный для многих дорожных мастеров этап планирования работ по устранению отступлений.

3.2 Управление процессом содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам

Содержание рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам осуществляется для обеспечения безопасного и бесперебойного движения поездов с установленными скоростями, а также снижения общего расстройтва пути.

В общем виде, к основным функциям системы управления производственным процессом содержания геометрии рельсовой колеи относятся:

- планирование и принятие решений по назначению работ по текущему содержанию и ППВ с целью обеспечения безопасного движения поездов с установленными скоростями без перебоев в перевозочном процессе;
- управление материально-техническими и трудовыми ресурсами, в частности, планирование и распределение данных ресурсов для обеспечения максимально эффективного результата.

В исследованиях в части управления трудовыми ресурсами на железнодорожном транспорте [13, 24, 25] подробно рассматриваются вопросы повышения эффективности труда и качества рабочей силы. Подробно изучен вопрос планирования трудовых ресурсов с использованием цифровизации в работе Н. И. Ковалнеко с соавторами [44], но в недостаточной мере уделяется внимание планированию работ по содержанию рельсовой колеи с учетом ограничения по времени их выполнения в сложных климатических и

эксплуатационных условиях. В рамках планирования и управления производственным процессом содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам важным является своевременное принятие обоснованного решения.

Система планирования и организации текущего содержания железнодорожного пути, куда входят и работы по приведению ГРК к нормативному состоянию, имеет ряд недостатков. В частности, отсутствие методического подхода и ограниченность средств планирования работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине.

Исходя из этого, принятие решений по организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи автором предлагается основывать на системе, предусматривающей обоснование того или иного решения. В общем виде данная система подобна системе поддержки принятия решений по техническому обслуживанию всего железнодорожного пути, за исключением ряда факторов (рисунок 3.7).

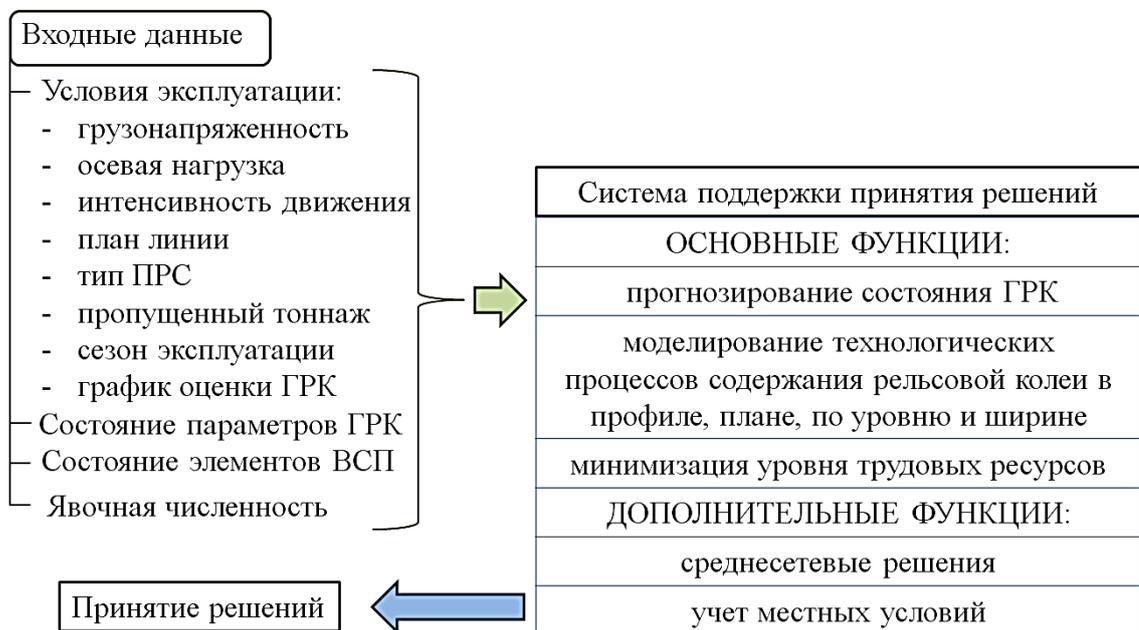


Рисунок 3.7 – Основные составляющие системы поддержки принятия решений в рамках управления процессом содержания рельсовой колеи

Для обоснования принятия решений необходим набор статистических данных, определяющий как фактическое состояние ГРК в настоящий момент (по

результатам оценки путеизмерительными средствами), так и его изменение за определенный срок эксплуатации (предиктивный прогноз). Также немаловажными являются условия эксплуатации. Различные эксплуатационные и климатические условия существенным образом оказывают влияние как на интенсивность расстройств ГРК, так и на решения, принимающиеся в части содержания рельсовой колеи.

К условиям эксплуатации в данном случае относятся грузонапряженность, осевая нагрузка, интенсивность движения, план линии (доля кривых участков), тип ПРС, график оценки состояния ГРК, а также климатические условия.

В свою очередь климатические условия зависят от температурной зоны, которая во многом определяет сезонность работ, интенсивность различных осадков, а также степень влияния периода замерзания и оттаивания подшпального основания.

Пропущенный тоннаж является показателем срока эксплуатации балластной призмы и элементов ПРС, состояние которых прямым образом определяет степень деградации ГРК. Количественная и качественная оценка ГРК является показателем качества ее содержания, а также влияет на безопасность движения поездов и выполнение эксплуатационных показателей перевозочного процесса. Высокая дефектность элементов ВСП существенным образом увеличивает трудоемкость работ по текущему содержанию, что отражается на объеме выполнения планово-предупредительных работ по содержанию рельсовой колеи. Повышенная дефектность рельсового хозяйства значительно снижает уровень трудозатрат, который может быть выделен на устранение отступлений II степени, так как замена дефектного рельса является первоочередной работой.

В систему поддержки принятия решений в части содержания рельсовой колеи автор предлагает включать основные и дополнительные функции.

К основным функциям относится прогнозирование состояния ГРК на краткосрочную и среднесрочную перспективу. В связи с тем, что развитие отступлений по ГРК в плане и профиле, имеет вероятностный характер, на который оказывают влияние большое количество различных параметров,

достоверный и точный прогноз развития единичного отступления в краткосрочной перспективе невозможен. Тем ни менее использование методики СКО позволит организовать работы по текущему содержанию рельсовой колеи на основе краткосрочного прогноза в целом на пикете. Прогноз в среднесрочной перспективе может быть получен лишь приближенный, на основе статистических данных, а его достоверность будет зависеть от качества текущего содержания на прогнозируемый период.

Для обоснованного принятия решения в части распределения трудовых ресурсов в течение месяца необходимо обладать информацией об объемах работ в конкретный день, что позволяет оперативно и обосновано корректировать сроки выполнения плановых работ при возникновении неотложных и первоочередных. Моделирование организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине должно учитывать объемы работ и сроки их устранения из расчета технологически необходимых трудозатрат.

Так как текущее содержание рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам осуществляется для обеспечения безопасного бесперебойного перевозочного процесса за счет предупреждения неисправностей, необходимо выявлять наиболее эффективный вариант распределения трудозатрат на выполнение плановых работ для сокращения вероятности возникновения неисправностей и выполнения балловой оценки. Для чего автор предлагает разработанный алгоритм минимизации трудовых ресурсов (численного состава бригады), необходимых для выполнения полного объема работ по содержанию рельсовой колеи в зимний период.

К дополнительным функциям относятся среднесетевые решения по содержанию рельсовой колеи и учет местных условий эксплуатации. Как показали исследования, влияние климатических условий на Западно-Сибирской железной дороге не всегда позволяет опираться на среднесетевые решения, что ставит вопрос о необходимости учета местных условий в рамках планирования и организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам. Как пример, учет местных условий

позволяет оценить необходимость организации работ по планово-предупредительной выправке рельсовых стыков в местах временного восстановления в осенний период эксплуатации, для упреждения возникновения в данных местах просадок зимой и весной.

На основании входных данных и системы поддержки автор предлагает осуществлять процесс принятия решений в части планирования и организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи на краткосрочный период (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Блок-схема процесса принятия решения по организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи

Таким образом, принятие решений о проведении той или иной работы по содержанию рельсовой колеи должно основываться на фактическом состоянии ГРК и уровне трудозатрат на ее содержание. По результатам оценки состояния ГРК путеизмерительными средствами формируется план работ с учетом степени выявленных отступлений.

В первую очередь, организуются неотложные работы, которые должны быть выполнены в суточный срок. После их выполнения или в случае их отсутствия осуществляется планирование первоочередных и планово-предупредительных работ, которое основывается на моделировании организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам.

При низком уровне расчетных трудозатрат, который определяется исходя из соотношения расчетных трудозатрат и плановой трудоемкости на текущее содержание (формула 3.3), осуществляется планирование работ по содержанию рельсовой колеи согласно программе максимум.

$$\lambda \leq Q_{n_r} - \mu_m, \quad (3.3)$$

где λ – расчетные трудозатраты на устранение отступлений по ГРК в период работы между очередными оценками (n_r), чел.-ч;

Q_{n_i} – плановая трудоемкость на текущее содержание пути в период работы n_i , чел.-ч;

μ_m – трудозатраты на работы, несвязанные с ГРК.

Трудозатраты в рамках текущего содержания пути, несвязанных с ГРК в период работы n_r , определяется как:

$$\mu_m = \mu_n + \mu_{II} + \mu_{III}, \quad (3.4)$$

где μ – трудозатраты в рамках текущего содержания пути, несвязанные с ГРК, соответственно на выполнение неотложных, первоочередных и планово-предупредительных работ, чел.-ч.

В данном случае помимо работ по устранению уже выявленных отступлений в план работ включаются участки, где при следующей оценке состояния пути могут образоваться отступления II степени, которые определяются исходя из анализа СКО параметров рельсовой колеи. В случае если расчетные трудозатраты превышают плановую трудоемкость с учетом прочих работ по текущему содержанию (формула 3.5), определяется необходимый объем трудовых ресурсов для выполнения полного объема работ, полученных в

результате оценки состояния пути, после чего планируются и выполняются соответствующие работы.

$$\lambda > Q_{nc} - \mu_m \quad (3.5)$$

Корректировка плана работ осуществляется как при очередной оценке состояния пути, так и при получении дополнительного объема работ в рамках текущего содержания. Основными источниками дополнительного объема являются неотложные, первоочередные и плановые работы по замене дефектных элементов пути, а также прочие работы несвязанные с состоянием ГРК.

3.3 Моделирование организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине

Как уже было отмечено, при планировании работ по текущему содержанию пути, в том числе и по ГРК, устанавливаются сроки устранения неисправностей и отступлений в зависимости от их величины (степени). При этом не учитывается фактическая численность монтеров пути, которые должны быть задействованы для выполнения работ. Данное обстоятельство не позволяет в полной мере организовать работы и приводит к некоторому диссонансу между имеющимися трудовыми ресурсами, и необходимостью закрыть запланированные, первоочередные и неотложные работы. Поэтому очень важно устранить такой дисбаланс при организации работ, учитывая и нормативные трудозатраты для выполнения технологических процессов.

3.3.1 Математическая модель организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине

Влияние климатических условий и типа ПРС приводит к необходимости учитывать как поправочные коэффициенты температурных зон (таблица 3.4), так и нормативные трудозатраты в зависимости от способа устранения отступлений и типа ПРС [61, 62]. Для определения расчетных трудозатрат на выполнение работ

по текущему содержанию рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам на участках Западно-Сибирской железной дороги (температурная зона V) приняты значения, представленные в таблице 3.5.

Таблица 3.4 – Значение поправочных коэффициентов в зависимости от температурной зоны.

Температурная зона	Поправочные коэффициенты к нормам времени по месяцам						
	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
I	-	-	-	1,05	1,05	-	-
II	-	-	1,06	1,08	1,08	1,05	-
III	-	1,06	1,08	1,13	1,13	1,08	-
IV	-	1,08	1,1	1,16	1,16	1,1	-
V	-	1,1	1,12	1,18	1,18	1,12	-
VI	1,07	1,17	1,25	1,25	1,25	1,17	1,07

Таблица 3.5 – Пример расчетных трудозатрат для участка Среднесибирского хода на устранение 1 м отступления

Наименование отступления	Значение трудозатрат на устранение отступления, чел.-ч					
	ноябрь – март		апрель - октябрь			
	Работа со креплениями при типе ПРС		Работа с балластом (выправка ЭШП, регулировка РШР)		Работа со креплениями при типе ПРС	
	КБ-65	ЖБР-65Ш	КБ-65	ЖБР-65Ш	КБ-65	ЖБР-65Ш
Сужение	0,092	0,160	-	-	0,092	0,160
Уширение	0,092	0,160	-	-	0,092	0,160
Уровень	0,218	0,139	0,240	0,220	-	-
Перекося	0,218	0,139	0,240	0,220	-	-
Просадка	0,218	0,139	0,240	0,220	-	-
Рихтовка	0,092	0,160	0,084		-	-

Примечание: для рельсового скрепления КБ принято значение согласно [61] без учета затрат труда на замену резиновых (изолирующих) прокладок;

Математическая модель организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине построена на основе формализации процесса поступления объемов работ и их выполнения (рисунок 3.9). Объемы работ по устранению отступлений определяются по результатам оценки состояния пути путеизмерительным вагоном. Для главных путей это две оценки на каждый путь в течение месяца (рабочая и контрольная).

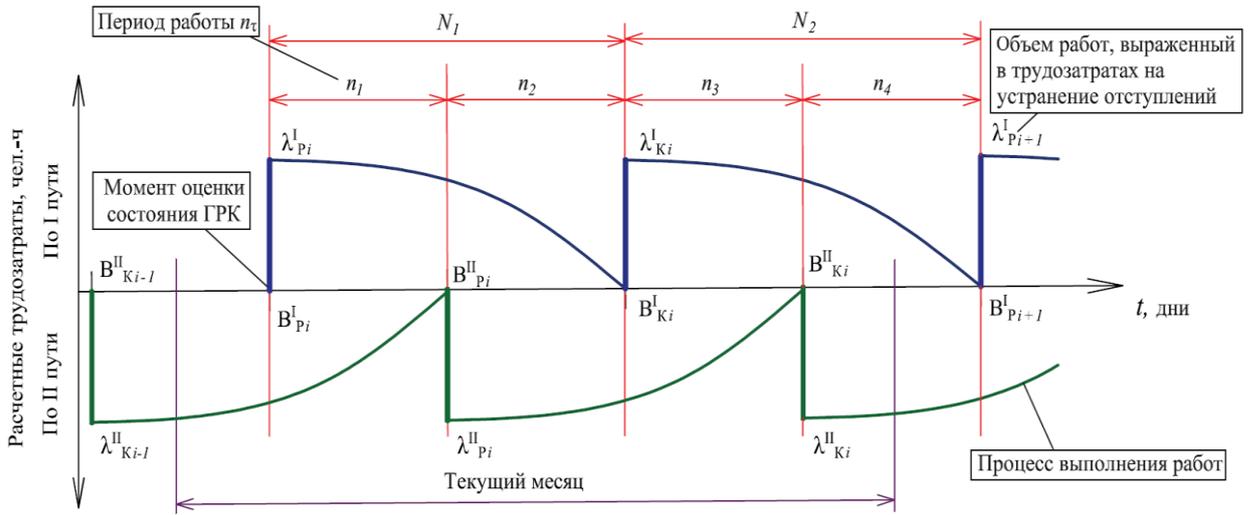


Рисунок 3.9 – Схема распределения трудозатрат и сроков выполнения работ

Если за точку отсчета принять момент выявления отступлений по I-му пути по результатам рабочей оценки состояния ГРК путеизмерительным вагоном (B_{Pi}^I), то значение расчетных трудозатрат на устранение выявленных отступлений в текущий условный месяц (до рабочей оценки по I-му пути в следующем месяце) можно определить как:

$$\lambda = \alpha^i \cdot \lambda_{K_{i-1}}^{II} + \lambda_{Pi}^I + \lambda_{Pi}^{II} + \lambda_{Ki}^I + \gamma^i \cdot \lambda_{Ki}^{II}, \quad (3.6)$$

где λ_{ji}^k – расчетные трудозатраты на устранение отступлений, выявленных при j -ой оценке (рабочей – P и контрольной – K) состояния ГРК по k -му пути в i -й месяц, чел.-ч;

α^i, γ^i – доли распределения соответствующих трудозатрат в текущий месяц.

В свою очередь расчетные трудозатраты по k -му пути, выявленные в результате j -ой оценки в i -й месяц, определяются как сумма расчетных трудозатрат на устранение каждого отступления на каждом километре линейного участка:

$$\lambda_{ji}^k = \sum_{l=1}^n \lambda_l^{Сууж} + \lambda_l^{Ушир} + \lambda_l^Y + \lambda_l^{II} + \lambda_l^{IIp} + \lambda_l^P, \quad (3.7)$$

где λ_l – расчетные трудозатраты на километре необходимые для устранения отступлений соответственно сужения, уширения, уровня, перекоса, просадки, рихтовки;

l – номер километра.

С учетом того, что работы по устранению выявленных отступлений за конкретную оценку на конкретном пути необходимо проводить в определенный промежуток времени, то в общем виде ежедневные расчетные трудозатраты описываются как соотношение:

$$\lambda^{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha^i \lambda_{K_{i-1}}^{II} + \lambda_{P_i}^I + \beta^i \lambda_{P_i}^{II}}{N_1^i} + \frac{(1 - \beta^i) \lambda_{P_i}^{II} + \lambda_{K_i}^I + (1 - \gamma^i) \lambda_{K_i}^{II}}{N_2^i} \right), \quad (3.8)$$

где α, β, γ – доли распределения соответствующих трудозатрат;

N_1^i – количество рабочих дней между рабочей и контрольной оценкой состояния ГРК по I-му пути в текущем месяце;

N_2^i – количество рабочих дней между контрольной оценкой в текущем месяце и рабочей в следующем месяце по I-му пути;

Данная величина показывает количественное значение расчетных трудозатрат на устранение выявленных отступлений – для выполнения полного объема работ в каждый рабочий день в течение месяца.

Таким образом, планирование работ по текущему содержанию рельсовой колеи на линейных участках сводится к определению наиболее рационального распределения трудозатрат на устранение уже выявленных отступлений (программа минимум), а также с проведением планово-предупредительных работ по устранению отступлений, которые к следующей оценке состояния ГРК могут перейти во II степень (программа максимум).

В силу того, что при планировании и организации работ в начале месяца неизвестен объем расчетных трудозатрат, который поступит в дальнейшем $(\lambda_{P_i}^{II}, \lambda_{K_i}^I, \lambda_{K_i}^{II})$, в уравнении (формула 3.8) присутствуют три неизвестные величины.

Известных методов прогнозирования состояния ГРК недостаточно для получения точных значений необходимых трудозатрат. Исходя из этого, автором предлагается использовать краткосрочное планирование, на период работы между очередными оценками состояния ГРК, с учетом долевого распределения трудозатрат.

Примем, что формирование плана будет осуществляться в четыре этапа. Соответственно каждый этап формирования плана работ связан с получением информации о результатах очередной оценки состояния ГРК (момент B). Тогда общий вид формулы средних ежедневных расчетных трудозатрат на содержание рельсовой колеи можно представить в виде:

$$\lambda^{cp} = \frac{1}{4} \left(\frac{\alpha^i \lambda_{K_{i-1}}^{II} + \chi^i \lambda_{P_i}^I}{n_{i-1}^i} + \frac{(1-\chi^i) \lambda_{P_i}^I + \beta^i \lambda_{P_i}^{II}}{n_{i-2}^i} + \frac{(1-\beta^i) \lambda_{P_i}^{II} + \delta^i \lambda_{K_i}^I}{n_{i-3}^i} + \frac{(1-\delta^i) \lambda_{K_i}^I + \gamma^i \lambda_{K_i}^{II}}{n_{i-4}^i} \right), \quad (3.9)$$

где $\alpha^i, \beta^i, \chi^i, \delta^i, \gamma^i$ – доли распределения трудозатрат от соответствующей оценки состояния ГРК в текущий месяц,

n_{τ}^i – период работы между очередными оценками в текущий месяц, рабочие дни.

Для планирования работ в первом приближении необходимо определить доли распределения трудозатрат $\alpha^i, \beta^i, \chi^i, \delta^i, \gamma^i$, исходя из количества дней между оценками состояния пути:

$$\alpha^i = 1 - \gamma^{i-1}; \quad \chi^i = \frac{n_{i-1}^i}{n_{i-1}^i + n_{i-2}^i}; \quad \beta^i = \frac{n_{i-2}^i}{n_{i-2}^i + n_{i-3}^i}; \quad \delta^i = \frac{n_{i-3}^i}{n_{i-3}^i + n_{i-4}^i}; \quad \gamma^i = \frac{n_{i-4}^i}{n_{i-4}^i + n_{i-1}^{i+1}}. \quad (3.10)$$

Таким образом, для каждого этапа планирования определяются потребные трудозатраты на содержание ГРК на текущий период работы (n_{i-1}) и последующий период работы (n_{i-2}). На основе полученных значений, явочной численности монтеров пути и прочих запланированных работ на каждый период (n_{i-1}) определяется программа содержания (формулы 3.3 и 3.5) и составляется график выполнения работ.

Исходя из этого, планирование работ в рамках текущего содержания ГРК осуществляется минимум 4 раза в месяц. При необходимости выполнения неотложных или первоочередных работ (замена дефектных и остродефектных рельсов), происходит перераспределение запланированных ежедневных трудозатрат, вследствие чего корректируются коэффициенты распределения.

3.3.2 Моделирование организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи на примере участка Среднесибирского хода

Для примера приведен расчет потребных трудозатрат на содержание основных параметров ГРК на линейном участке Каменской дистанции пути, расположенного в границах Среднесибирского хода (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Расчетные значения требуемых трудовых ресурсов на содержание основных параметров ГРК на линейном участке Каменской дистанции пути

Параметр	Значение
λ_{K7}^{II} , чел.-ч	146,69
λ_{P8}^I , чел.-ч	204,41
λ_{P8}^{II} , чел.-ч	142,08
λ_{K8}^I , чел.-ч	113,82
λ_{K8}^{II} , чел.-ч	83,26
Доля	
α	0,364
χ	0,375
β	0,500
δ	0,364
γ	0,727
Период работы:	потребные трудозатраты, чел.-ч
n_1 (3 дня)	130,05
n_2 (5 дней)	198,80
n_3 (5 дней)	112,43
n_4 (7 дней)	132,98

Так как за точку отчета принят момент B_{P8}^I , то расчетные трудозатраты λ_{K7}^{II} и λ_{P8}^I являются известными величинами.

Согласно календарному графику рабочей недели и формуле 3.10 коэффициенты распределения трудозатрат для λ_{K7}^{II} и λ_{P8}^I составляют:

$$\gamma^7 = \frac{7}{7+4} = 0,64;$$

$$\alpha^8 = 1 - 0,64 = 0,36;$$

$$\chi^8 = \frac{3}{3+5} = 0,375$$

Откуда следует, что потребные трудозатраты на период работы n_1 составят:

$$\lambda_{n_1} = 0,364 \cdot 146,69 + 0,375 \cdot 204,41 = 130,05 \text{ чел.-ч.}$$

Оставшиеся расчетные трудозатраты по I пути, которые составляют 113,65 чел.-ч запланированы на период работы n_2 .

В момент B_{P8}'' запланированные работы на период n_1 считаются выполненными, а в результате рабочей оценки состояния ГРК по II пути известно значение λ_{P8}'' , для которого коэффициент распределения составляет:

$$\beta = \frac{5}{5+5} = 0,500.$$

Тогда потребные трудозатраты на период работы n_2 с учетом λ_{P8}'' определяются как:

$$\lambda_{n_2} = (1 - 0,375) \cdot 204,41 + 0,5 \cdot 142,08 = 198,80 \text{ чел.-ч.}$$

Аналогичным способом определяются и заносятся в таблицу 3.6 потребные трудозатраты на период n_3 и n_4 , после чего строилась схема распределения трудозатрат на содержание рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам (рисунок 3.10).

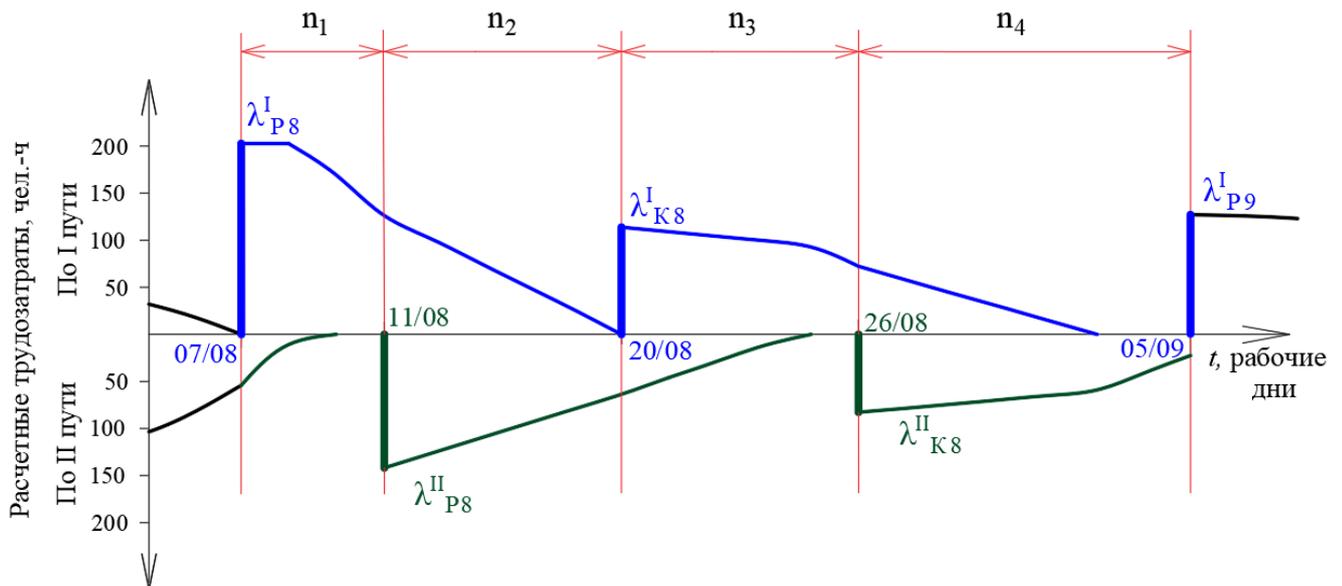


Рисунок 3.10 – Схема распределения трудозатрат на содержание рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам

Исходя из полученных значений, определяется уровень трудозатрат, который необходимо выделять каждый день с целью выполнения полного объема работ (таблица 3.7).

При формировании бригады по выправке пути с использованием ЭШП в количестве 7 человек, с учетом времени на проход и пропуск поездов, для выполнения работ в каждый период можно определить количество дней на выполнение полного объема работ по программе минимум (таблица 3.8). В оставшиеся дни планируются прочие работы по содержанию железнодорожного пути.

Таблица 3.7 – Минимальный уровень ежедневных трудозатрат и распределение для линейного участка Каменской дистанции пути за август 2018 г.

Период работы	Среднее количество ежедневных трудозатрат, чел.-ч
n_1	43,33
n_2	39,76
n_3	22,49
n_4	19,00

Таблица 3.8 – Количество рабочих дней на выполнение работ по содержанию основных ГРК по программе минимум.

Период работы	Общее количество рабочих дней	Количество дней на содержание ГРК
n_1	3	3
n_2	5	5
n_3	5	3
n_4	7	4

При необходимости проведения неотложных или первоочередных работ, несвязанных с состоянием ГРК, работы по содержанию основных параметров ГРК переносятся на свободный день, либо корректируются коэффициенты распределения. В случае организации работ согласно программе «максимум» в периоды 1, 3 и 4 необходимо пересмотреть вид технологических работ и операций, а также количество человек в бригаде, с целью увеличения ежедневного уровня трудозатрат на выполнение данных работ.

В таблице 3.9 представлено сравнение расчетных трудозатрат с фактическим распределением из отчетных форм (ПУ-74).

Как видно из таблицы, при фактической организации работ по содержанию основных параметров ГРК основная доля работ была запланирована на конец месяца. В период n_1 на работы по выправке пути было выделено лишь 31 чел.-ч, так как в этот период выполнялась плановая замена шпал на линейном участке, а также очистка главных путей от мусора и грязи. В период n_2 на выправку пути выделялось 3 дня, в остальные два дня проводились работы по смене шпал и замене дефектного рельса.

Таблица 3.9 – Результаты моделирования

Период работы:	Распределение трудовых ресурсов на содержание основных параметров ГРК	
	Расчетные, чел.-ч	Фактические, чел.-ч
n_1	130,05	31,00
n_2	198,80	132,00
n_3	112,43	169,00
n_4	132,98	232,50

В итоге фактическое распределение трудозатрат привело к тому, что работы по содержанию основных параметров ГРК были выполнены не в полном объеме. В среднем, не было устранено от 24 до 37 % отступлений, выявленных в ходе каждой оценки. Это нарушение регламентирующих сроков устранения отступлений, влияющее на общее расстройство пути, балловую оценку, а также на увеличение объема работ на следующий период работы.

Стоит учитывать, что в период неравномерной осадки подшпального основания объемы работ по содержанию основных параметров ГРК в существенной мере возрастают. В таблице 3.10 представлен расчет потребных трудозатрат на выполнение полного объема работ в течение месяца согласно формулам 3.9 и 3.10.

Существенное снижение фактических трудозатрат связано с выполнением в первую половину месяца (n_1 и n_2) работ, не связанных с ГРК (таблица 3.11), что

привело к снижению трудозатрат, выделяемых на содержание ГРК, а впоследствии к увеличению отступлений.

Из обработки статистических данных по текущему содержанию ГРК на линейном участке ПЧ-25 выявлено, что в случаях, когда фактические трудозатраты ниже расчетных, то среднее количество отступлений в сумме по I и II пути на линейном участке составляет 9,9 шт./км (рисунок 3.12).

Таблица 3.10 – Расчетные значения в сравнении с фактическим

Параметр	Значение	
$\lambda_{K_5}^{II}$, чел.-ч	160,96	
$\lambda_{P_6}^I$, чел.-ч	424,14	
$\lambda_{P_6}^{II}$, чел.-ч	177,45	
$\lambda_{K_6}^I$, чел.-ч	308,73	
$\lambda_{K_6}^{II}$, чел.-ч	49,18	
Коэффициенты приведения	Расчетные	Фактические
	α	0,38
χ	0,4	0
β	0,56	0
δ	0,5	0,25
γ	0,5	0
Период работы:	Расчетные трудозатраты, чел.-ч	Фактические трудозатраты, чел.-ч
n_1 (5 дней)	297,55	157,40
n_2 (4 дня)	259,49	146,00
n_3 (6 дней)	260,83	256,00
n_4 (6 дней)	203,55	123,98

Таблица 3.11 – Распределение трудозатрат в июле 2019г.

Вид работ	Трудозатраты, чел.-ч
Работы на содержание ГРК:	683,4
- исправление просядок и перекосов пути подбивкой шпал ЭШП-9	312,6
- поправка подрельсовых прокладок	290
- регулировка ширины рельсовой колеи	52
- выправка пути по уровню с укладкой регулировочных прокладок	28,8
Проход к месту работы, пропуск поездов, ограждение работ	384
Удаление растительности с главного пути	637
Прочие (смена рельсов, шпал, элементов ПРС, техническая учеба)	185,6
Итого	1890

При выполнении планово-предупредительных работ по устранению отступлений, которые могут перейти на степень выше (в данном случае из I степени во II), уровень фактических трудозатрат возрастает в 1,5 – 2 раза по сравнению с расчетными трудозатратами, а среднее количество отступлений составляет 5,5 шт./км. Соответственно, выполнение программы максимум благоприятно сказывается на состоянии ГРК. Также на рисунке 3.11 отчетливо видно влияние неравномерной осадки подшпального основания, когда полное устранение отступлений (вторая половина апреля: фактические затраты труда соответствуют расчетным трудозатратам) не снижает среднее количество отступлений на следующий месяц.



Рисунок 3.11 – Среднее количество отступлений в зависимости от объемов фактических трудозатрат на содержание ГРК

Таким образом, моделирование организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине позволяет определить объем ежедневных трудозатрат, которые необходимо выделять на содержание рельсовой колеи в заданный период работы. Это позволяет осуществлять рациональное планирование трудовых ресурсов с целью выполнения полного объема работ по устранению отступлений, выявленных в течение месяца и организовать работы по содержанию рельсовой колеи с выполнением установленных сроков.

3.4 Минимизация трудовых ресурсов на содержание рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам в зимний период

В зимний период эксплуатации организация работ по содержанию рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам существенно усложняется за счет влияния дополнительных факторов, выраженных, в первую очередь, климатическими и погодными условиями, что требует выделения трудовых ресурсов на мероприятия по снегоборьбе.

Для совершенствования организации работ по выправки пути в профиле и регулировке ширины колеи в зимний период разработан алгоритм минимизации трудовых ресурсов (численного состава бригады), необходимых на выполнение работ по содержанию рельсовой колеи, при заданном ограничении времени. В данном случае, помимо ограничения времени на устранение выявленных отступлений, регламентированного Инструкцией [34], вводится ограничение на распределение трудозатрат, необходимых на их ликвидацию.

Общая постановка задачи минимизации трудовых ресурсов на содержание рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине выглядит следующим образом. Задано ограничение по времени на выполнение полного объема работ. Необходимо так распределить ограниченные трудовые ресурсы, либо найти сроки выполнения каждой работы, чтобы для принятого критерия потребление ресурсов в найденном варианте календарного плана было минимальным.

Критерием оптимальности плана служит уровень выделяемых трудозатрат, необходимый на выполнение полного объема работ по содержанию рельсовой колеи. Из множества допустимых планов необходимо установить тот, который обеспечит выполнение минимальным числом трудовых ресурсов заданных объемов работ за ограниченный временной промежуток.

Исходными данными для решения задачи являются календарный график, периодичность оценки состояния ГРК и результаты оценки, выраженные в расчетных трудозатратах на устранение выявленных отступлений. Ограничение по совмещению работ по одной технологической карте вводится в виде

технологической захватки для упрощения построения линейных диаграмм выполнения работ графо-аналитическим методом. Под технологической захваткой принимается фронт работ протяженностью два километра, объем работ на ней определяется как сумма трудозатрат на устранение выявленных отступлений.

Алгоритм состоит из ряда этапов (рисунок 3.12). В первую очередь, необходимо ввести ограничение по совмещению работ в рамках технологических карт, а также определить границы захваток, на которых будут выполняться работы. После очередной оценки состояния ГРК проводится анализ результатов, из которого формируются плановые объемы работ по содержанию ГРК $\lambda(n_r)$.

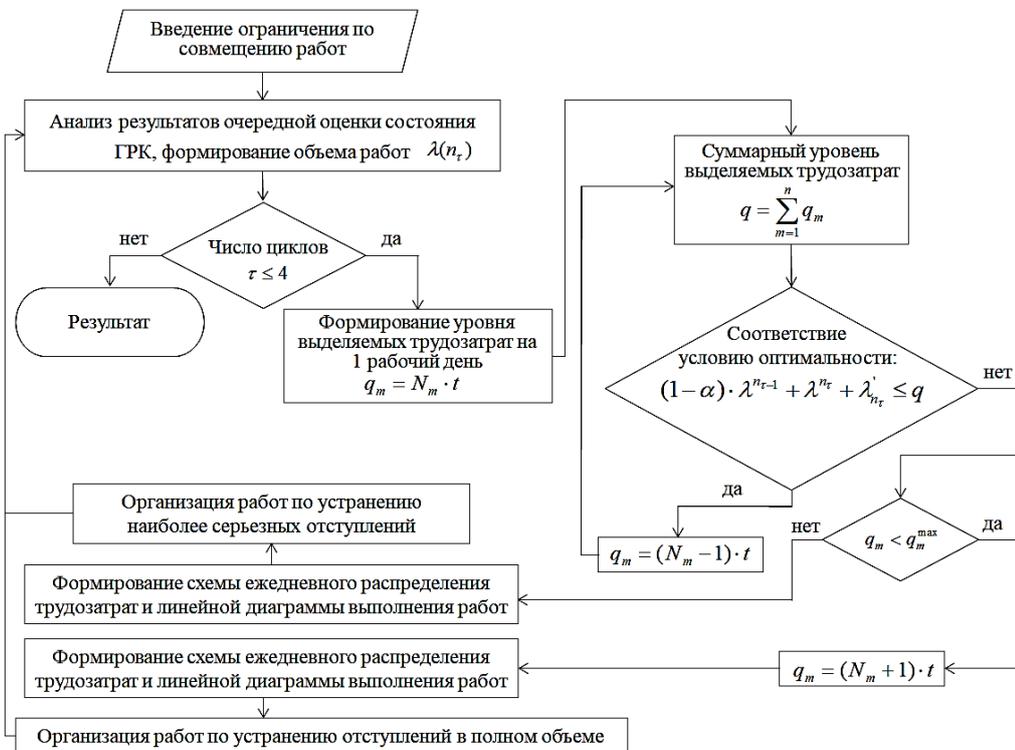


Рисунок 3.12 – Алгоритм минимизации трудовых ресурсов

Формируется суммарный уровень выделяемых трудозатрат на выполнение работ по содержанию рельсовой колеи на период работы, исходя из количественного состава бригады и рабочих дней, который проверяется на соответствие условию оптимальности:

$$(1 - \alpha) \lambda_j^{n_{\tau-1}} + \lambda_j^{n_{\tau}} + \lambda_n' \leq q = \sum_{m=1}^n q_m, \quad (3.11)$$

где α – доля выполненного объема работ от прошлой оценки,

λ_j^{n-1} – трудозатраты на устранение отступлений, выявленных по результатам предыдущей оценки, чел.-ч;

λ_j^n – трудозатраты на устранение отступлений, выявленных по результатам текущей оценки, чел.-ч;

λ_{n_τ}' – потери на проход вдоль фронта работ, ограждение работ и пропуск поездов, чел.-ч;

q – суммарный уровень выделяемых трудозатрат, чел.-ч.

Суммарный уровень выделяемых трудозатрат определяется как сумма трудозатрат каждого рабочего дня на содержание рельсовой колеи в период работы n_τ :

$$q = \sum_{m=1}^n q_m, \tag{3.12}$$

$$q_m = N_m \cdot t, \tag{3.13}$$

где N – количество монтеров пути в бригаде в m -ый день, чел;

t – продолжительность рабочего дня, 8 ч.

В зависимости от результата происходит сокращение численного состава бригады (трудовых ресурсов) до выполнения условия оптимальности, после чего формируется итоговая схема ежедневного распределения трудовых ресурсов и линейный график выполнения работ (рисунок 3.13), на основе которых организуются работы.

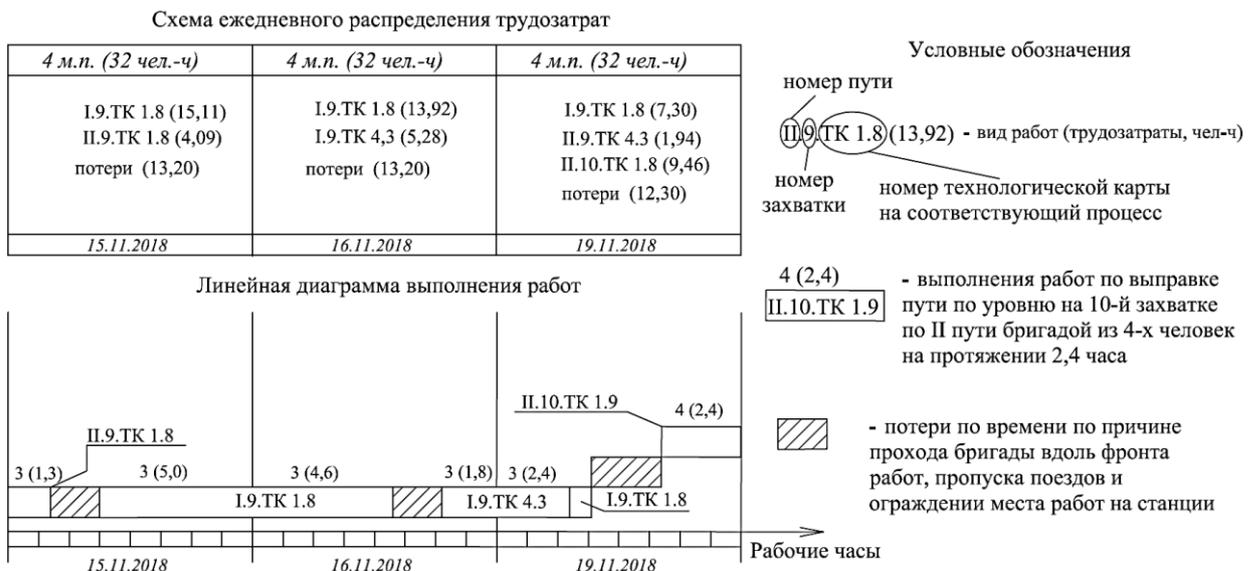


Рисунок 3.13 – Фрагменты схемы ежедневного распределения трудозатрат и линейной диаграммы выполнения работ

Если объем работы по содержанию рельсовой колеи превышает максимальный уровень выделяемых трудозатрат, организуются работы по устранению наиболее опасных отступлений. Параллельно выполняется построение диаграммы содержания основных параметров ГРК на линейном участке, анализ которого позволяет оценить качество выполненных работ.

По результатам выполнения полного объема работ формируется диаграмма содержания основных параметров ГРК на линейном участке, где в графическом формате приведена информация о месте, сроках и объемах работ.

Для примера представлен расчет минимизации трудовых ресурсов на содержание рельсовой колеи для линейного участка Каменской дистанции в ноябре 2018 года. При формировании технологической захватки определяется объем работ на двух близлежащих километрах. Таким образом, участок длиной 22 км (с *34 по *55 км) разделяется на 11 технологических захваток длиной 2 км каждая. Начиная от границы линейного участка, каждой захватке присваивается порядковый номер (рисунок 3.14).

<i>Номер километра</i>	*34	*35	*36	*37	*38	*39	*40	*41	*42	*43	*44	*45	*46	*47	*48	*49	*50	*51	*52	*53	*54	*55
<i>Номер захватки</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11											

Рисунок 3.14 – Распределение километров на захватки

Содержание рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам в период замерзшего подшапального основания осуществляется за счет работы с ПРС. В этом случае работы по содержанию рельсовой колеи заключаются в выполнении работ по выправке пути в профиле с использованием регулировочных прокладок и регулировку ширины колеи (таблица 3.4).

Для обозначения работы, выполняемой на захватке, используется номер соответствующей ей технологической карты, которые составлены на основе технолого-нормировочных крат [62]:

ТК 1.8 и ТК 1.9 – выправка пути по уровню соответственно для скрепления КБ-65 и ЖБР-65Ш;

ТК 4.3 и ТК 4.7 – регулировка ширины колеи с применением стяжного прибора (перешивка) соответственно для скрепления КБ-65 и ЖБР-65Ш.

Сроки устранения отступлений формируются исходя из календарного графика оценки состояния ГРК, а также степенью отступления. Для отступления IV степени срок устранения – 1 сутки, для III степени – 3 суток, для II степени близкой к III (2к3) – 7 суток. Отступления II степени должны быть устранены в плановом порядке до следующей оценки путеизмерительным средством.

С использованием алгоритма минимизации трудовых ресурсов при каждой оценке состояния ГРК в течение месяца, автором выявлено, что бригада из 4-х монтеров пути способна обеспечить необходимый уровень выделяемых трудозатрат на выполнение полного объема работ в регламентирующие сроки (рисунок 3.15).

4 м.п. (32 чел.-ч) I.11.ТК 1.9 (9,94) I.11.ТК 4.7 (3,17) I.10.ТК 1.9 (11,40) потери (9,20)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.10.ТК 1.9 ^{2к3} (3,48) I.10.ТК 1.9 (16,92) I.10.ТК 4.7 (6,51) потери (6,80)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.1.ТК 1.9 (15,29) I.2.ТК 1.9 ^{2к3} (2,36) I.2.ТК 1.9 (5,15) потери (9,20)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.2.ТК 1.9 (24,40) потери (7,60)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.2.ТК 1.9 (12,34) I.3.ТК 1.9 (11,31) проход (9,20)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.4.ТК 1.9 (7,55) I.4.ТК 4.7 (8,45) I.5.ТК 1.9 (10,58) потери (8,40)
6.11	7.11	8.11	9.11	12.11	13.11
4 м.п. (32 чел.-ч) II.6.ТК 1.8 (1,69) II.7.ТК 1.9 (5,53) II.7.ТК 1.8 (1,21) II.8.ТК 1.9 (6,38) II.8.ТК 1.8 (5,08) потери (10,80)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.9.ТК 1.8 (15,11) II.9.ТК 1.8 (4,09) потери (13,20)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.9.ТК 1.8 (13,92) I.9.ТК 4.3 (5,28) потери (13,20)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.9.ТК 1.8 (7,30) II.9.ТК 4.3 (1,94) II.10.ТК 1.8 (9,46) потери (12,30)	4 м.п. (32 чел.-ч) прочие работы	4 м.п. (32 чел.-ч) I.1.ТК 1.9 (6,60) II.1.ТК 1.9 (2,65) I.2.ТК 1.9 (5,60) II.2.ТК 1.9 (4,37) II.3.ТК 1.9 (2,08) потери (10,00)
14.11	15.11	16.11	19.11	20.11	21.11
4 м.п. (32 чел.-ч) II.3.ТК 1.9 (4,13) I.3.ТК 1.9 (6,08) II.4.ТК 1.9 (2,87) I.4.ТК 1.9 (0,76) II.5.ТК 1.8 (0,48) I.5.ТК 1.9 (7,25) потери (10,80)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.11.ТК 1.9 ^{2к3} (2,50) I.11.ТК 1.9 (11,59) I.10.ТК 4.7 (2,91) I.10.ТК 1.9 (5,95) потери (9,20)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.9.ТК 1.9 ^{2к3} (7,84) I.9.ТК 1.9 (10,10) потери (12,63)	4 м.п. (32 чел.-ч) II.11.ТК 4.3 ³ (2,78) II.11.ТК 1.8 ^{2к3} (2,64) II.11.ТК 1.8 (19,00) потери (7,60)	4 м.п. (32 чел.-ч) II.5.ТК 1.8 ³ (2,50) I.5.ТК 1.9 (7,25) II.5.ТК 1.8 (14,90) потери (7,60)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.9.1ТК 1.8 (11,37) I.9.ТК 4.3 (4,64) I.8.ТК 1.9 (0,46) потери (14,54)
22.11	23.11	26.11	27.11	28.11	29.11
4 м.п. (32 чел.-ч) II.5.ТК 1.8 (22,40) I.6.ТК 1.9 (0,97) II.6.ТК 1.8 (0,31) потери (8,40)	4 м.п. (32 чел.-ч) I.6.ТК 1.9 (1,85) II.6.ТК 1.8 (6,90) I.7.ТК 1.9 (10,60) II.7.ТК 1.8 (14,35) потери (8,40)	4 м.п. (32 чел.-ч) II.7.ТК 1.8 (8,56) II.8.ТК 1.8 (0,97) II.9.ТК 4.3 (0,54) II.9.ТК 1.8 (9,75) потери (14,23)	4 м.п. (32 чел.-ч) II.9.ТК 1.8 (6,65) II.10.ТК 1.8 (14,82) потери (10,62)		
30.11	3.12	4.12	5.12		

Рисунок 3.15 – Схема ежедневного распределения трудозатрат на ЛУ ПЧ-25 по состоянию на 25.11.2018

При каждом этапе планирования и корректировки работ формируется диаграмма содержания рельсовой колеи (рисунок 3.16), которая позволяет оценить эффективность выполненных работ на основании результатов очередной оценки состояния ГРК.

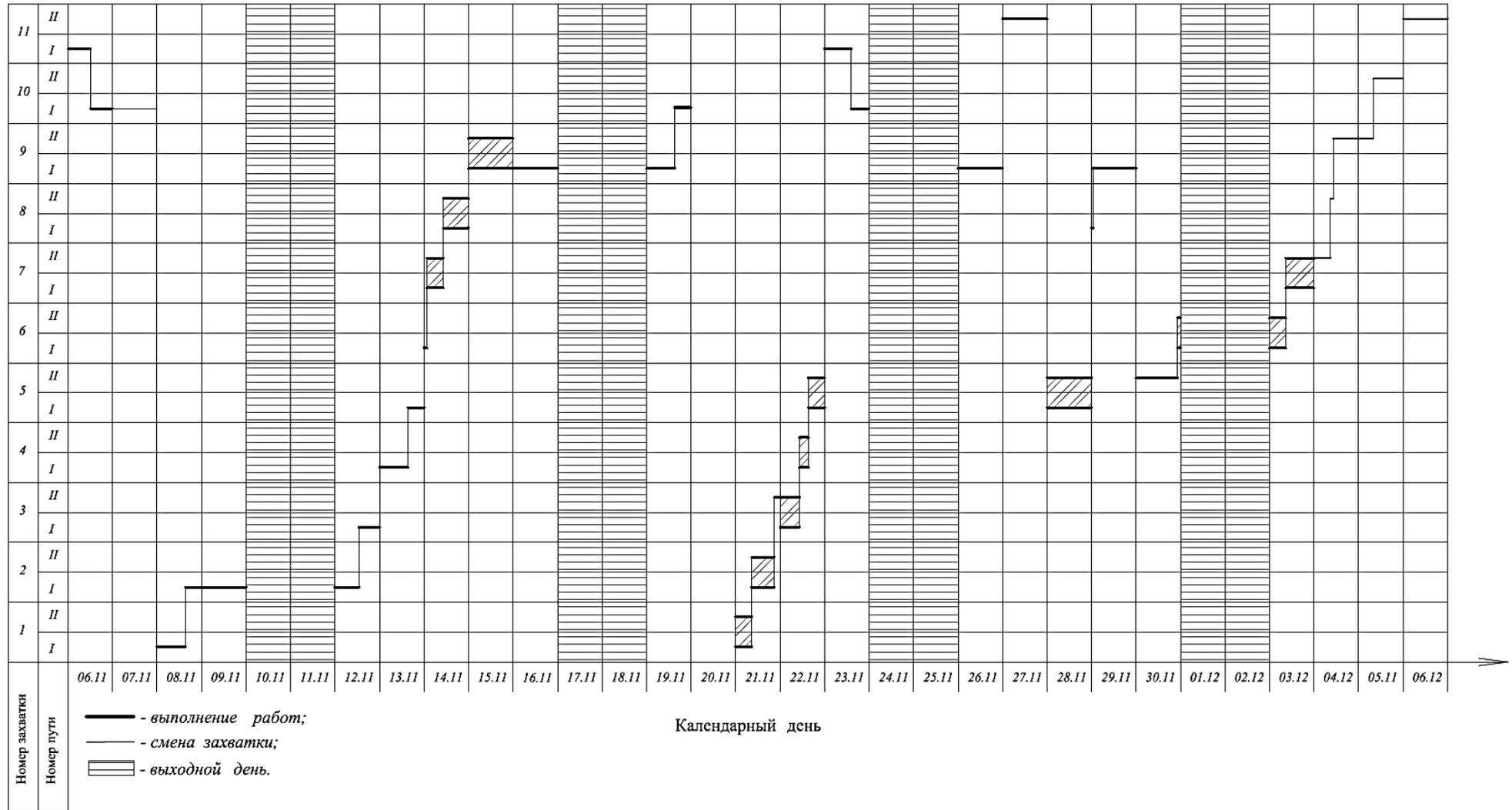


Рисунок 3.16 – Диаграмма содержания основных параметров ГРК на линейном участке за ноябрь месяц при условии минимального выделения трудовых ресурсов

Для рационального распределения трудовых ресурсов немаловажно обладать информацией о статистическом распределении трудозатрат, необходимых на устранение отступлений (рисунок 3.17).

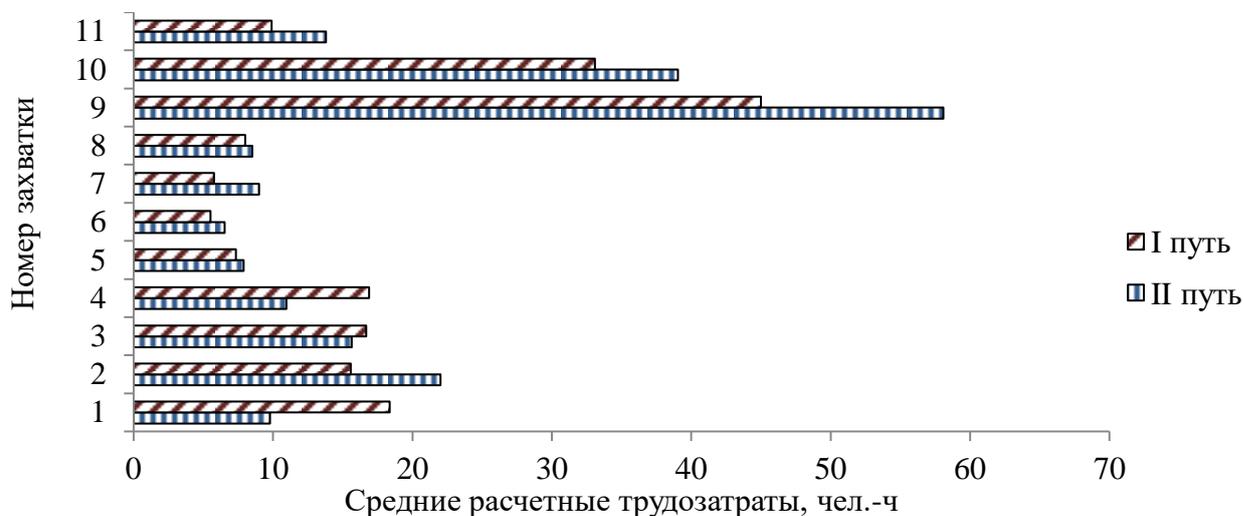


Рисунок 3.17 – Статистика расчетных трудозатрат на захватках в пределах линейного участка за период с 01.01.2018 по 05.11.2018 г.

По состоянию за период с января по ноябрь 2018 года наибольшие расчетные трудозатраты приходились на захваты 9 и 10, а наименьшие на захваты с 5 по 8. Это позволяет сделать вывод о возможном значении расчетных трудозатрат на стадии составления схемы ежедневного распределения трудозатрат в момент, когда объемы работ от очередной оценки по соседнему пути неизвестны. Тем не менее, необходимо учитывать, что при объемах работ, превышающих возможности явочной численности монтеров пути, регламентирующие сроки могут быть нарушены, что говорит о невозможности нормального содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам. В таких случаях следует рассматривать возможность перераспределения трудовых ресурсов с соседних линейных участков, либо увеличивать трудовые ресурсы за счет бригады по планово-предупредительным работам.

При устойчивом невыполнении полного объема планово-предупредительных работ следует рассматривать возможность назначения ППВ на данном участке с целью сокращения трудозатрат на текущее содержание рельсовой колеи за счет восстановления равноупругости подшпального основания.

Выводы по главе

Развитие отступлений по геометрии рельсовой колеи во многом зависит как от эксплуатационных условий железнодорожного участка, так и от климатических особенностей региона. Влияние грузонапряженности, осевой нагрузки, плана линии, типа ПРС определяет интенсивность развития отступлений. В период неравномерной осадки подшпального основания резко возрастает интенсивность развития отступлений, что существенно увеличивает объем работ по содержанию рельсовой колеи.

Вместе с тем, на особогрузонапряженных участках наблюдается увеличение дефектности элементов ВСП, что сказывается на объеме работ в целом по текущему содержанию пути. Развитие конкретного одиночного отступления достаточно сложно поддается точному прогнозу, в свою очередь, методика СКО позволяет осуществлять достоверное прогнозирование состояния ГРК в целом на пикете, что позволяет делать выводы о необходимости проведения планово-предупредительных работ в рамках текущего содержания. При текущем содержании железнодорожного пути в части ГРК в сложных климатических и эксплуатационных условиях важной задачей является своевременное распределение ограниченных трудовых ресурсов с обеспечением регламентированного срока выполнения заданных объемов.

Разработанный и предложенный автором методический подход включает в себя систему поддержки принятия решений, которая позволит принимать обоснованные решения по распределению трудовых ресурсов в краткосрочной перспективе с учетом местных условий эксплуатации, прогноза развития отступлений с использованием СКО, а также моделирования организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи.

Разработанная автором математическая модель организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине позволит определять необходимый уровень ежедневных трудозатрат на содержание рельсовой колеи в период работы между очередными оценками состояния ГРК для выполнения полного объема планово-предупредительных

работ. Исходя из данного уровня, осуществляется выбор программы содержания рельсовой колеи, что позволит принимать обоснованные решения по распределению трудовых ресурсов на линейном участке, а также оценить возможность нормального содержания рельсовой колеи с текущей явочной численностью монтеров пути.

Разработанный алгоритм минимизации трудовых ресурсов позволяет при заданном ограничении по времени определять минимальный количественный состав бригады на выполнение работ по текущему содержанию рельсовой колеи в зимний период в полном объеме, что позволит обеспечить безопасность движения поездов с установленными скоростями и снизить расстройство пути в условиях ограниченных ресурсов.

4 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫПРАВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ МАШИНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Научно-техническое развитие железнодорожной инфраструктуры активно проявляется в совершенствовании как машин и механизмов, предназначенных для технического обслуживания железнодорожного пути, так и организации технологических процессов. Улучшение качества и рост выработки выправочных машин являются основополагающими в части повышения эффективности процесса выправки пути машинным комплексом. Немаловажным остается вопрос эффективного планирования и организации технологического процесса выправки пути, который в полевых условиях имеет значительное влияние на эффективность проведения работ, аналогично безотказной работе машинных комплексов.

Своевременное проведение ППВ существенно сокращает как количество отступлений по ГРК, так и трудозатраты на ее текущее содержание. Формирование плана выполнения ППВ на следующий год осуществляется в соответствии с технологически обоснованной потребностью до 1 июля текущего года по результатам генерального весеннего осмотра с учетом результатов оценки мобильными диагностическими средствами (критерии назначения).

Учитывая то, что период проведения ППВ начинается с 15 мая при оттаивании подшпального основания и заканчивается к 15 ноября по причине замерзания балласта важным является рациональное распределение выправочных машин для обеспечения максимальной выработки в данный период.

4.1 Влияние планово-предупредительных работ на состояние геометрии рельсовой колес

Существенное влияние на состояние ГРК оказывает качество выполнения работ по устранению отступлений. В условиях ограниченных ресурсов перед бригадами по выправке пути ставится задача по выполнению балловой оценки за счет устранения максимально возможного количества отступлений. В то время

как работы по предупреждению отступлений отводятся на второй план. Таким образом, вместо качественного устранения отступления производится работа по «сглаживанию» пиковых значений отступлений. При планово-предупредительной выправке машинным комплексом работа производится сплошную на участке, что исключает места перехода упругости подпального основания, как это происходит при локальной выправке в рамках текущего содержания. Помимо этого, машинная выправка может обеспечить минимальное количество отступлений в среднесрочной перспективе, при условии своевременной поддержки работами по текущему содержанию.

Исходя из чего, встает вопрос о границах эффективности проведения ППВ. В качестве параметров эффективности автором приняты: среднее количество отступлений и расчетные трудозатраты на их устранение. Причем расчетные трудозатраты определяются с учетом вида отступления, его протяженности, а также способа устранения (принятой технологической карты).

Для снижения влияния различных условий эксплуатации (плана линии, грузонапряженности, наличия разделительного слоя) были выбраны участки I пути Среднесибирского хода, которые обслуживались в единых климатических и эксплуатационных условиях. Основные характеристики рассматриваемых участков представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные характеристики участков Среднесибирского хода

Параметр	Номер участка						
	1	2	3	4	5	6	7
Класс и код группы	10						
Грузонапряженность на 01.01.2021, млн. т км бр./км в год	122,3						
Пропущенный тоннаж на 01.01.2021 г., млн. т	991		665			991	
Год укладки	2012		2015			2012	
Скорость поездов пассажирских/грузовых, км/ч	120/80						
План линии	прямые участки						
Разделительный слой	пенополистерол		геотекстиль				
Общее количество ППВ на участке на 01.2021 г.	3	5	2	3	2	3	4
Длина участка, км	4	3	3	3	4	3	5
Тип ПРС	ЖБР-65Ш						

Для анализа автором определялись и сравнивались среднее количество отступлений и расчетные трудозатраты на их устранение до и после ППВ. Особенное внимание уделялось не только среднему значению параметров эффективности до и после, но и их значению в период неравномерного оттаивания подшпального основания.

Для анализа влияния планово-предупредительной выправки машинными комплексами на состояние ГРК была построена схема проведения ППВ для всех исследуемых участков (рисунок 4.1).

	Год										Т, млн. т
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Участок 1	КР	ППВ				ППВ			ППВ		951
Участок 2	КР	ППВ				ППВ		ППВ	ППВ	ППВ	
Участок 3				КР	ППВ					ППВ	625
Участок 4				КР	ППВ		ППВ			ППВ	
Участок 5				КР	ППВ		ППВ				
Участок 6	КР	ППВ		ППВ				ППВ			954
Участок 7	КР	ППВ	ППВ					ППВ	ППВ		

Рисунок 4.1 – Периодичность проведения ППВ на исследуемых участках:

КР – капитальный ремонт; ППВ – планово-предупредительная выправка;

Т – величина пропущенного тоннажа на момент анализа

Участки исследования разделены на две группы, в зависимости от года укладки. В случае участков 1, 2, 6 и 7, отчетливо видно существенную разницу в количестве отступлений в сравнении с участками 3, 4 и 5 (рисунок 4.3). Также прослеживается динамика снижения влияния периода неравномерных осадок (ПНО) при оттаивании подшпального основания на количество отступлений.

В случае участков, где на момент проведения ППВ в 2018 году пропущенный тоннаж составлял 300–350 млн. т бр. (участки 4 и 5), после ее выполнения произошло снижение среднего количества отступлений с 6,3 и 7 шт./км до 0 и 0,3 шт./км соответственно. При дальнейшей эксплуатации участков за счет текущего содержания среднее количество отступлений составляло 0,6 и 1,2 шт./км до следующего периода неравномерных осадок.

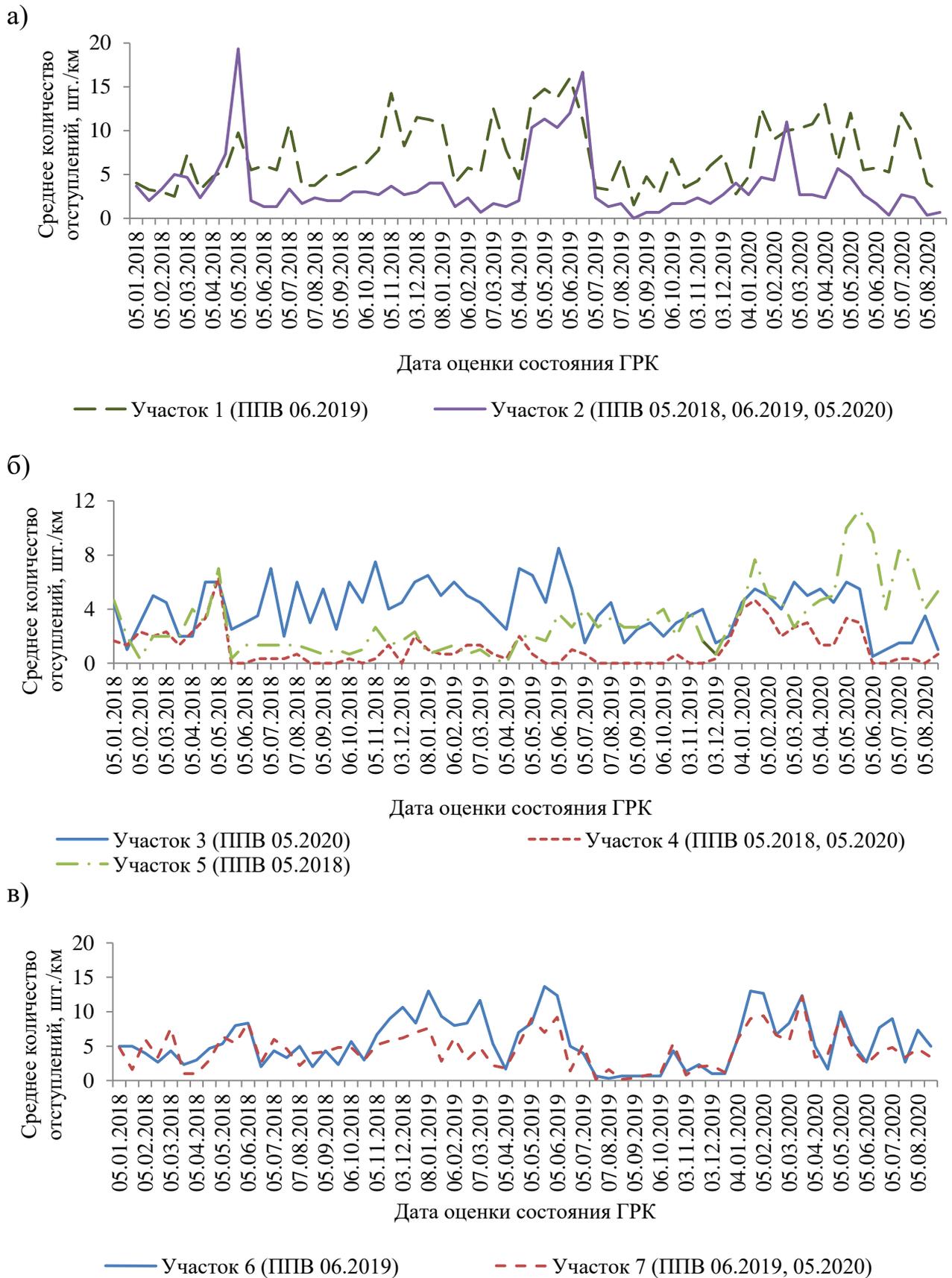


Рисунок 4.2 – Графики влияния проведения планово-предупредительной выправки на состояние геометрии рельсовой колеи:

а) для участков 1 и 2; б) для участков 3, 4 и 5; в) для участков 6 и 7

В то время как на участке 3, где машинная выправка была проведена только в мае 2020 года, среднее количество отступлений составило 4,9 шт./км за аналогичный период. Общий анализ участков в части влияния ППВ на состояния ГРК представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты анализа влияния планово-предупредительной выправки на состояние геометрии рельсовой колеи

Параметр сравнения	Период сравнения	Среднее значение параметра сравнения						
		Номер участка						
		1	2	3	4	5	6	7
Среднее количество отступлений, шт./км	до ППВ	3,9	3,5	3,3	1,8	2,2	4,0	3,6
	в ПНО (2018)	6,7	10,3	4,7	4	4,7	6,6	5,8
	после ППВ	-	2,3	-	0,5	1,2	-	-
	в ПНО (2019)	13,9	12,1	6,4	0,7	2,4	10,3	7,6
	после ППВ	5,6	2,7	-	-	-	4,2	3,8
	в ПНО (2020)	10,5	3,6	5,4	2,3	7,8	6,9	6,6
	после ППВ	-	1,5	1,5	0,2	-	-	3,8
Среднее значение расчетных трудозатрат на устранение отступлений, чел.-ч/км	до ППВ	5,1	5,9	8,3	2,7	3,6	8,8	5,1
	в ПНО (2018)	12,7	21,1	11,0	10,4	9,5	13,8	11,4
	после ППВ	-	3,9	-	0,8	2,2	-	-
	в ПНО (2019)	25,5	20,6	13,5	0,85	3,9	20,1	15,6
	после ППВ	9,3	3,7	-	-	-	8,1	6,9
	в ПНО (2020)	18,5	5,9	9,0	5,6	13,1	15,3	12,1
	после ППВ	-	3,4	2,7	0,2	-	-	7,2

Примечание: за период неравномерной осадки (ПНО) принимается эксплуатация железнодорожного пути с середины апреля до начала июня.

По результатам анализа можно сделать вывод, что для оценки эффективности проведения ППВ машинным комплексом помимо среднего количества отступлений могут служить расчетные трудозатраты на устранение отступлений, так как динамика изменений трудозатрат адекватно реагирует на проведение машинной выправки, а также является прозрачным показателем уровня трудозатрат, необходимого на содержание рельсовой колеи.

На участках, где пропущенный тоннаж варьируется в диапазоне от 300 до 600 млн. т бр. наиболее существенный эффект выявлен при проведении ППВ каждые два года (240 –280 млн. т бр.).

Среднее количество отступлений после машинной выправки в 2018 году сократилось практически в 3 раза и составляло 0,9 шт./км на протяжении двух лет и снизилось до 0,2 шт./км после проведения планово-предупредительной выправки в 2020 году (участок 4). Вместе с тем период проведения машинной

выправки относительно пропущенного тоннажа также имеет влияние. Так среднее количество отступлений на участке 3 до проведения ППВ в 2020 году составляло 4,3 шт./км, когда на участке 5 машинная выправка была проведена в 2018 году и среднее количество отступлений составило 2,5 шт./км за аналогичный период.

На участках, где пропущенный тоннаж варьируется в диапазоне от 600 до 900 млн. т. наилучший эффект был выявлен при ежегодном проведении машинной выправки (участок 2). Среднее количество отступлений после ППВ в 2018 году снизилось в 2,5 раза и составляло 2,3 шт./км до следующего периода неравномерной осадки подшпального основания, где возросло до 12,3 шт./км. После проведения машинной выправки в 2019 году это значение снизилось до 2,7 шт./км. Весной 2020 года среднее количество отступлений составило 6,7 шт./км и после очередной выправки сократилось до 2,6 шт./км, при пропуске тоннажа свыше 900 млн. т бр.

При проведении одной выправки за анализируемый период (участки 1 и 6) наблюдается лишь кратковременный эффект (до 6-и месяцев). В среднем на данных участках от проведения одной машинной выправки среднее количество снизилось в 1,3 раз. Если же рассматривать эффективность ППВ через параметр расчетных трудозатрат на содержание рельсовой колеи, то наиболее информативным будет рисунок 4.3, где заметно изменение роста расчетных трудозатрат после проведения выправки пути машинным комплексом за рассматриваемый период.

На участках, уложенных в 2015 году наибольшее количество ППВ за период эксплуатации (3 шт.) пришлось на участок 4, которому соответствуют наименьшие трудозатраты за анализируемый период, в то время как на участке 3 выявлены наибольшие затраты труда, количество машинных выправок составило 2 шт., но с периодичностью 4 года (2016 и 2020). В случае участков, уложенных в 2012 году, то наиболее эффективной периодичностью проведения ППВ с точки зрения расчетных трудозатрат является схема участка 2 (рисунок 2.2). После проведения послеосадочной выправки пути в 2013 году, первая выправка была проведена через три года (через 310–330 млн. т бр.), следующая через два года

(230 млн. т бр.), а после пропуска тоннажа в 700 млн. т машинная выправка проводилась ежегодно (каждые 110–140 млн. т бр.).

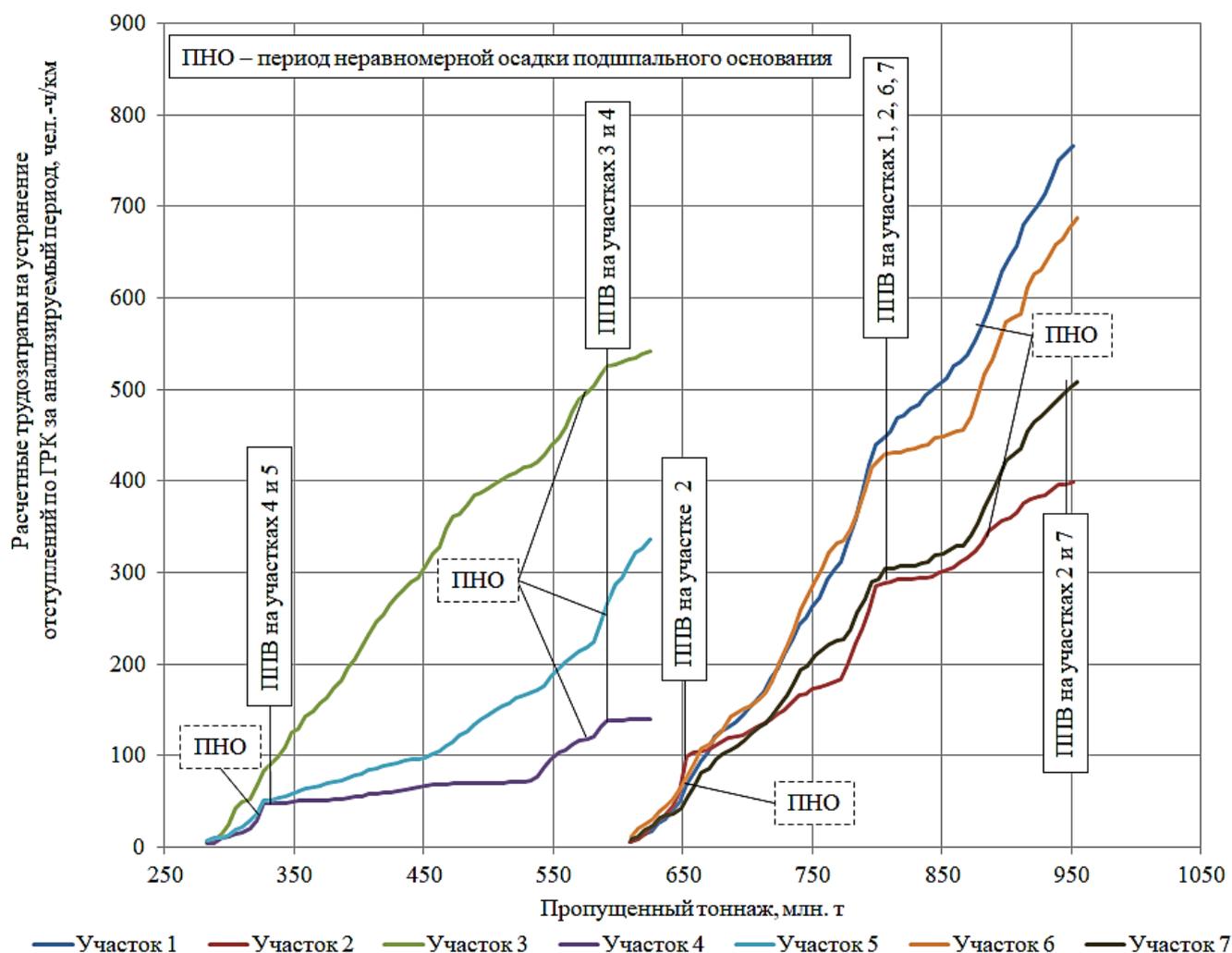


Рисунок 4.3 – График расчетных трудозатрат с нарастающим итогом за период с 01.01.2018 по 01.09.2020 года

Наименьшая эффективность выявлена на участке 1, где ПШВ проводилась каждые три года независимо от величины пропущенного тоннажа.

Автором выявлено, что с ростом пропущенного тоннажа существенно снижается эффективность ПШВ. При пропуске тоннажа в диапазоне от 300 до 600 млн. т брутто на особогрузонапряженных участках в сложных климатических условиях выправку пути машинными комплексами следует проводить каждые 2 года. При пропуске тоннаже в диапазоне от 600 до 900 млн. т брутто наилучший эффект будет достигаться при ежегодной выправке.

4.2 Имитационное моделирование организации выправки пути машинным комплексом

В настоящее время основными выправочными машинами, которые используются в путевом хозяйстве, являются DUOMATIC 09-32 CSM (далее Дуоматик), DYNAMIC 09-3X (далее Динамик), ВПР-02 (далее ВПР) и ПМА-1М. Так как технические характеристики машин Дуоматик и ПМА-1М достаточно близки, в дальнейшем будут рассмотрены комбинации с использованием машины только Дуоматик.

На рисунке 4.4 представлены объемы работ путевых машин по выправке пути на полигоне Западно-Сибирской железной дороги (ЗСЖД) за 2021 г., также стоит учитывать, что при необходимости на полигон временно могут прибывать машины с других дорог.

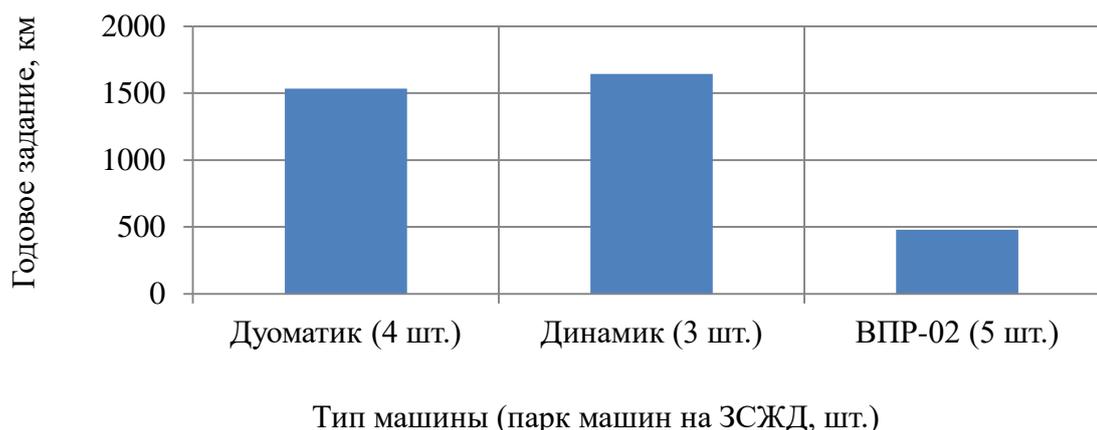


Рисунок 4.4 – Объемы работ путевых машин по выправке пути за 2021 г.

Совершенствование технологического процесса выправки пути машинным комплексом при производстве работ по ППВ может быть основано на выборе оптимального количества выправочных машин и рационального фронта работ при минимизации времени работ в «окно». Так коэффициент соотношения длин участков для работы двух ведущих машин выглядит как соотношение:

$$K = \frac{L_2}{L_1} \quad (4.1)$$

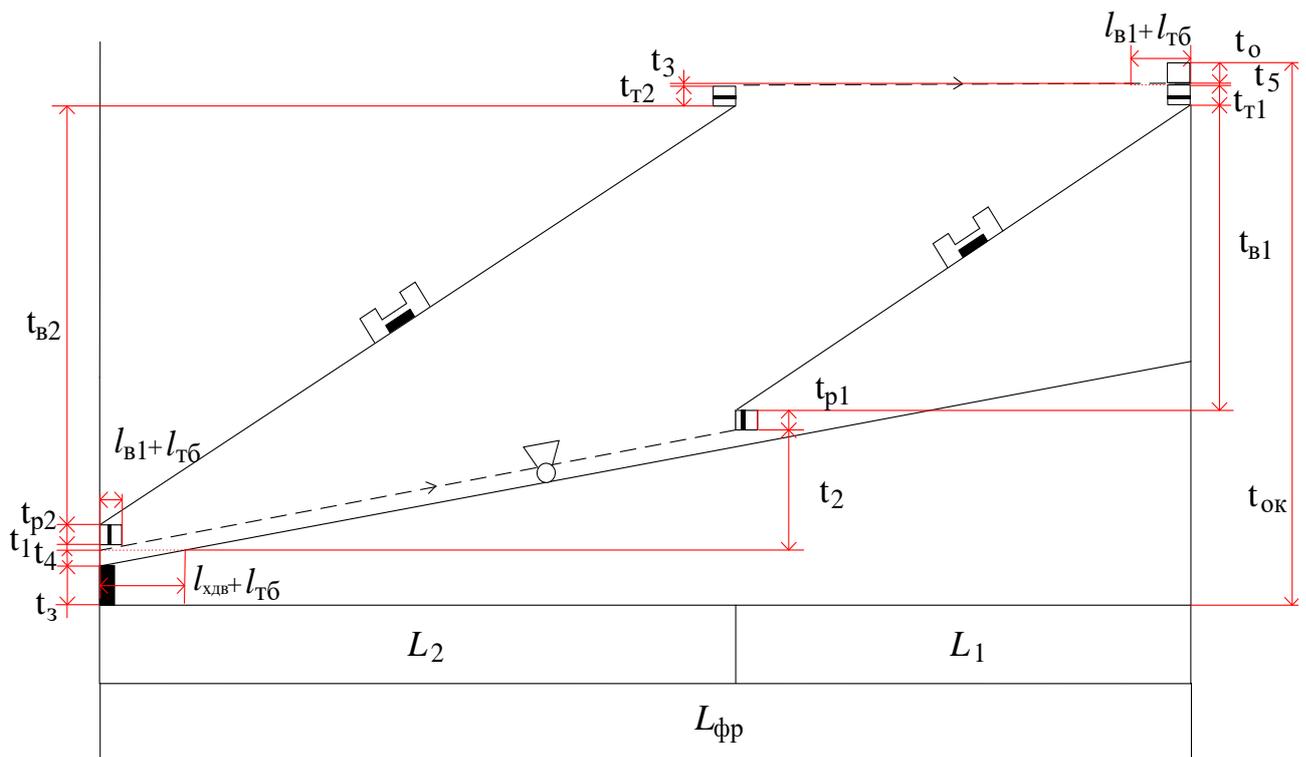
где L_1 – длина участка №1, для работы выправочной машины №1, м;

L_2 – длина участка №2, для работы выправочной машины №2, м.

Сумма длин этих участков представляет собой фронт работ ($L_{\text{фр}}$) в «окно», соответственно, зная коэффициент K , через соотношение (4.1) можно определять рациональный фронт работ для каждого участка:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_1 = \frac{L_{\text{фр}}}{1 + K} \\ L_2 = \frac{L_{\text{фр}} \cdot K}{1 + K} \end{array} \right. \quad (4.2)$$

При организации работы двух выправочных машин необходимо определить длину участка работы каждой из них (рисунок 4.5). Длина этих участков определяется технологической последовательностью работы машин, темпом работы путевых машин, требованием рационального использования времени «окна».



Условные обозначения:

- — закрытие перегона;
- ▽ — выгрузка балласта из хоппер-дозаторов;
- — проезд выправочной машины;
- — приведение выправочной машины в рабочее положение;
- ▣ — работа выправочной машины;
- — приведение выправочной машины в транспортное положение;
- — открытие перегона.

Рисунок 4.4 – Схема выполнения ППВ двумя выправочными машинами

Для обеспечения максимальной выработки параллельно работающих ведущих машин принимаются условия окончания работы машин примерно в одно время и отсутствие последующей за выправочными машинами другой путевой техники (ПБ, МПТ). Выявление рационального соотношения длин участков на работы выправочных машин и определение времени «окна» выполнялись [98] на основе схемы на рисунке 4.5.

Время проезда первой выправочной машины на безопасное расстояние:

$$t_1 = \frac{L_{в1} + l_{тб}}{V_{хдв}}, \quad (4.3)$$

где $L_{в1}$ – длина машины №1 (Дуоматик – 28,57 м; ВПР – 23,45 м; Динамик – 34 м);

$V_{хдв}$ – темп работы хоппер-дозаторов, м/мин:

$$V_{хдв} = \frac{1000}{W \cdot q_{хдв} \cdot \alpha}, \quad (4.4)$$

где 1000 – количество метров на 1 км, м;

W – объем выгружаемого балласта на 1 км пути, принимается 100 м^3 ;

$q_{хдв}$ – оперативное время на работу по выгрузке 1 м^3 балласта из 1 хоппер-дозатора, 0,14 маш.-мин.;

α – коэффициент потери времени в «окно», 1,25.

$$V_{хдв} = \frac{1000}{100 \cdot 0,14 \cdot 1,25} = 57,14 \text{ м/мин.}$$

Продолжительность проследования первой выправочной машины на участок работы:

$$t_2 = \frac{L_2}{V_{хдв}}, \quad (4.5)$$

при выгрузки из 2 хоппер-дозаторов (максимально разрешенное количество)

$$V_{хдв} = \frac{1000}{100 \cdot \frac{0,14}{2} \cdot 1,25} = 114,29 \text{ м/мин.}$$

Время работы выправочной машины на выделенном участке:

$$t_{вi} = \frac{L_i}{V_{вi}}, \quad (4.6)$$

где $V_{вi}$ – темп работы i -ой выправочной машины на i -ом участке, м/мин.

$$V_{\text{в}i} = \frac{1000}{N \cdot q_{\text{в}i} \cdot \alpha}, \quad (4.7)$$

где 1000 – количество метров на 1 км, м;

N – эпюра шпал, примем 1908 шт./км;

$q_{\text{в}i}$ – оперативное время на работу i -ой выправочной машины, маш.-мин..

В свою очередь оперативное время работы Дуоматик – 0,0267 маш.-мин.;
ВПП – 0,0693 маш.-мин.; Динамик – 0,0251 маш.-мин.

Значения $t_{\text{р}1}$ и $t_{\text{р}2}$ (время на приведение машины в рабочее положение):

- машина ВПП – 6,825 маш.-мин.;
- машина Дуоматик – 4,813 маш.-мин.;
- машина Динамик – 10 маш.-мин.

Значения $t_{\text{т}1}$ и $t_{\text{т}2}$ (время на приведение машины в транспортное положение):

- машина ВПП – 5,175 маш.мин.;
- машина Дуоматик – 5,475 маш.мин.;
- машина Динамик – 10 маш.мин.

Время проезда на безопасное расстояние в конце фронта работ:

$$t_3 = \frac{L_1 - (l_{\text{в}1} + l_{\text{т}6})}{V_{\text{в}2\text{т}}}, \quad (4.8)$$

где $V_{\text{в}2\text{т}}$ – транспортная скорость движения второй выправочной машины, м/мин.

Прочие параметры, приведенные на рисунке 4.2:

$t_{\text{в}i}$ – время на выправку пути i -ой машиной на участке L_i , мин.;

$l_{\text{в}i}$ – длина i -ой выправочной машины, м;

t_4 – время между началом работы хоппер-дозаторов и выездом выправочной машины №1, мин.;

t_5 – время на проезд машины №2 на расстояние $(l_{\text{в}1} + l_{\text{т}6})$, мин.;

t_3 – время закрытия перегона и пробег машин к месту «окна», мин.;

t_0 – время открытия перегона, мин.;

$l_{\text{т}6}$ – длина разрывов между машинами по технике безопасности, 50 м.

Общая длина фронта работ:

$$L_{\text{фр}} = L_1 + L_2. \quad (4.9)$$

Исходя из этого, общий вид уравнения рационального соотношения длин участков L_1 и L_2 представляется как соотношение:

$$t_1 + t_{p2} + t_{в2} + t_{т2} + t_3 = t_{т1} + t_{в1} + t_{p1} + t_2. \quad (4.10)$$

Подставляя соответствующие значения и выполняя ряд преобразований, получена зависимость $L_1 = f(L_{\text{фр}})$:

– при наличии хоппер-дозаторов в начале каждого «окна» по выправке пути:

$$L_1 = \frac{\left[\frac{L_{\text{фр}}}{V_{в2}} - \frac{L_{\text{фр}}}{V_{хдв}} + \frac{l_{в1} + l_{тб}}{V_{хдв}} + \frac{l_{в1} + l_{тб}}{V_{в2т}} + t_{p1} + t_{т1} - t_{p2} - t_{т2} \right] \cdot V_{в1} \cdot V_{хдв} \cdot V_{в2т} \cdot V_{в2}}{V_{в2} \cdot V_{хдв} \cdot V_{в2т} + V_{в1} \cdot V_{хдв} \cdot V_{в2т} - V_{в1} \cdot V_{в2} \cdot V_{в2т} + V_{в1} \cdot V_{хдв} \cdot V_{в2}}; \quad (4.11)$$

– при отсутствии хоппер-дозаторов в начале каждого «окна» по выправке пути:

$$L_1 = \frac{\left[-\frac{L_{\text{фр}}}{V_{в2}} + \frac{L_{\text{фр}}}{V_{в1т}} - \frac{L_{в1} + l_{тб}}{V_{в1т}} + \frac{l_{в1} + l_{тб}}{V_{в2т}} + t_{p1} + t_{т1} - t_{p2} - t_{т2} \right] V_{в1} \cdot V_{в1т} \cdot V_{в2т} \cdot V_{в2}}{-V_{в2} \cdot V_{в1т} \cdot V_{в2т} - V_{в1} \cdot V_{в1т} \cdot V_{в2т} + V_{в1} \cdot V_{в2} \cdot V_{в1т} + V_{в1} \cdot V_{в2т} \cdot V_{в2}}. \quad (4.12)$$

При отсутствии хоппер-дозаторов в начале каждого «окна» по выправке пути, при однотипных выправочных машинах формула (11) упрощается

$$L_1 = L_2 = \frac{L_{\text{фр}}}{2}. \quad (4.13)$$

В случае определения времени «окна» (рисунок 1б) время «окна» складывается из следующих параметров:

$$t_{\text{ок}} = t_3 + t_4 + t_1 + t_{p2} + t_{в2} + t_{т2} + t_3 + t_5 + t_o. \quad (4.14)$$

При отсутствии операции по выгрузке балласта до прохода выправочных машин, уравнение принимает вид:

$$t_{\text{ок}}^* = t_3 + t_1 + t_{p2} + t_{в2} + t_{т2} + t_3 + t_5 + t_o. \quad (4.15)$$

За малостью значения и особенностью оформления закрытия перегона и проезда машин с места «окна» временем t_5 можно пренебречь.

В данных условиях рационально рассматривать комбинации следующих машин: Динамик–Динамик, Дуоматик–Дуоматик, Динамик–Дуоматик, ВПР–Динамик. Также для сравнения учитывается работа одной и двух машин ВПР-02. Полученные коэффициенты соотношения длин участков для наиболее эффективных комбинаций представлены на рисунке 4.6.

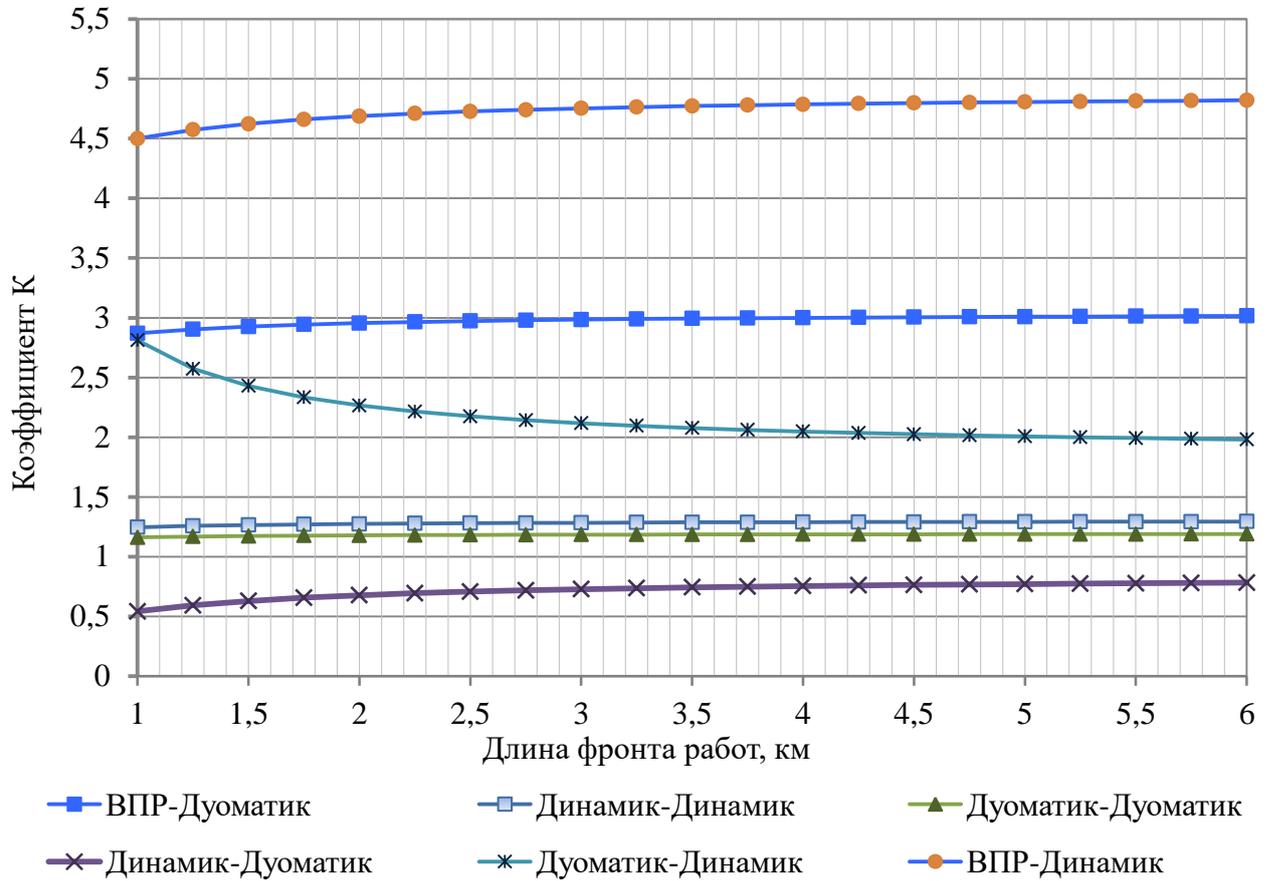


Рисунок 4.6 – Коэффициенты соотношения длин участка работ машин

Для комбинаций парной работы машин Дуоматик и Динамик коэффициент соотношения показывает, что разница в объемах работ каждой машины изменяется в зависимости от общего фронта работ.

В случае сравнения комбинации машин Дуоматик–Динамик выявлено, что в зависимости от того, какая машина первой заходит на фронт работ, существенно меняется распределение объемов. Так для пары Дуоматик–Динамик больший объем работ приходится на машину Динамик. При фронте работ до 3 км на Динамик в среднем приходится 60 % от общего объема работ.

На рисунках 4.7 и 4.8. представлены зависимости продолжительности «окна» на выправку пути для рассматриваемых вариантов.

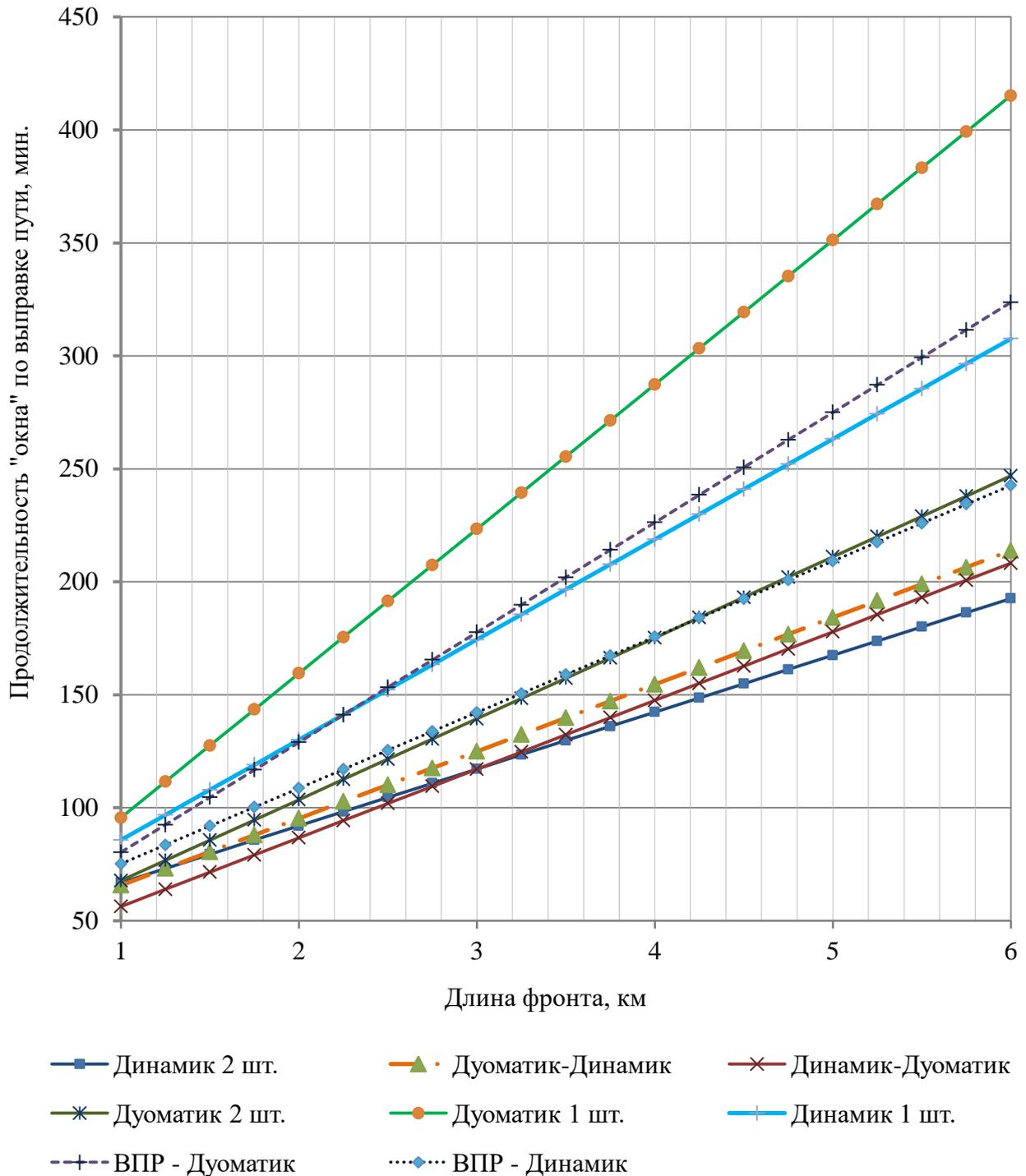


Рисунок 4.7 – Графики зависимости продолжительности «окна» от фронта работ для рассматриваемых вариантов машинных комплексов

Для оценки эффективности работы по выправке пути выбранными комбинациями машин рассматривается только работа хоппер-дозаторов (ХДВ) и выправочных машин. Предполагается, что прочие машины (ПБ, ДСП, МПД, ПРСМ, РШП и др.) при одинаковом фронте работ не повлияет на итоговое

значение при сравнении вариантов комбинаций выправочных машин. Принимается, что работа по выправке пути производится по данным путеизмерительного вагона с использованием технологии электронных меток, что исключает необходимость проведения измерительной поездки за счет использования данных с путеизмерительного вагона и сокращает время работы выправочной машины более чем на 20 % [91].

Автором выявлено, что наиболее предпочтительными вариантами, с точки зрения минимального времени «окна», являются варианты парной работы машин Дуоматик и Динамик, а также вариант организации работы двух машин Динамик (рисунок 4.8).

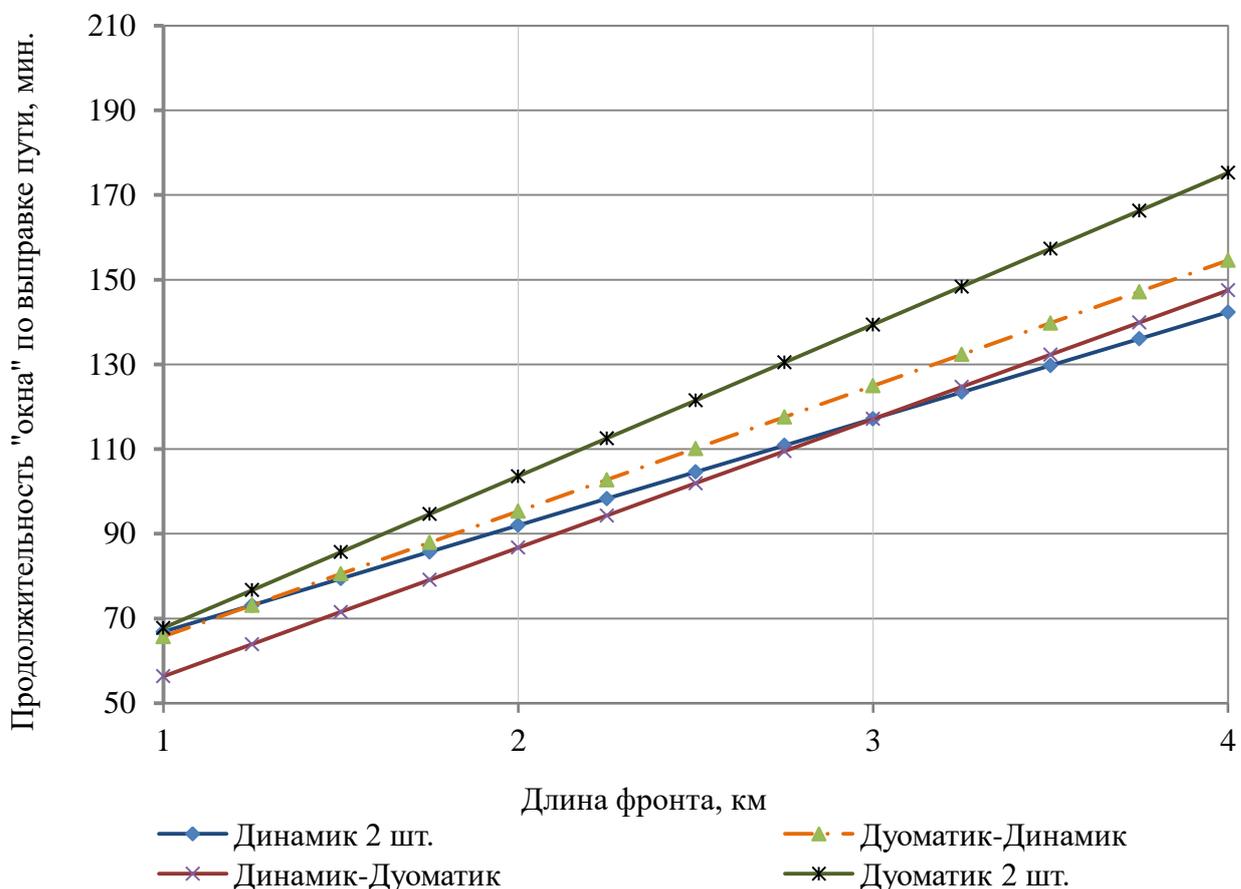


Рисунок 4.8 – Графики зависимости продолжительности «окна» от фронта работ для высокопроизводительных машинных комплексов при фронте работ до 4 км

Видно, что по продолжительности «окна» все 4 варианта достаточно близки. Наименьшая продолжительность «окна» на выправку при фронте работ до 3 км выявлена у варианта Динамик–Дуоматик, при большем фронте работ наилучшим образом проявляет себя вариант из двух машин Динамик.

Для выявления наиболее эффективного варианта комбинации машин по выработке и продолжительности «окна» на 1 км определены значения данных параметров для каждого варианта, а также приведено их сравнение с базовым вариантом (таблица 4.3). За базовый был принят вариант с 1 машиной Дуоматик так как на полигоне ЗСЖД он является наиболее распространенным.

Таблица 4.3 – Эффективность работы по выправке пути в зависимости от комбинации машин

Вариант комбинации машин	Фронт работ, км								
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	Продолжительность «окна», мин. (процент от базы сравнения)								
Дуоматик 1 шт. (база сравнения)	96 (100)	128 (100)	160 (100)	191 (100)	223 (100)	255 (100)	287 (100)	319 (100)	351 (100)
Динамик 1 шт.	86 (90)	108 (85)	130 (82)	152 (80)	174 (78)	197 (77)	219 (76)	241 (75)	263 (74)
Динамик - Дуоматик	56 (59)	72 (56)	87 (54)	102 (53)	117 (52)	132 (52)	147 (51)	163 (51)	178 (50)
Дуоматик - Динамик	66 (69)	81 (63)	95 (60)	110 (58)	125 (56)	140 (55)	155 (54)	169 (53)	184 (52)
Дуоматик 2 шт.	68 (71)	86 (67)	104 (65)	121 (63)	139 (62)	157 (62)	175 (61)	193 (60)	211 (60)
Динамик 2 шт.	67 (70)	79 (62)	92 (58)	105 (55)	125 (52)	142 (51)	159 (50)	176 (49)	192 (48)
Динамик - ВПР	75 (79)	92 (72)	109 (68)	125 (66)	142 (64)	159 (62)	176 (61)	192 (60)	209 (59)
Дуоматик - ВПР	81 (84)	105 (82)	130 (81)	154 (81)	179 (80)	203 (80)	228 (79)	252 (79)	277 (79)
ВПР 2 шт.	120 (126)	164 (128)	207 (130)	250 (131)	293 (131)	337 (132)	380 (132)	423 (133)	467 (133)
-	Выработка комплекса, км/ч (процент от базы сравнения)								
Дуоматик 1 шт. (база сравнения)	628 (100)	706 (100)	752 (100)	783 (100)	806 (100)	822 (100)	835 (100)	846 (100)	854 (100)
Динамик 1 шт.	700 (111)	834 (118)	922 (123)	985 (126)	1032 (128)	1068 (130)	1097 (131)	1120 (132)	1140 (133)
Динамик - Дуоматик	1065 (170)	1258 (178)	1384 (184)	1472 (188)	1537 (191)	1587 (193)	1627 (195)	1660 (196)	1687 (197)
Дуоматик - Динамик	913 (145)	1118 (158)	1259 (167)	1362 (174)	1441 (179)	1503 (183)	1553 (186)	1594 (189)	1629 (191)
Дуоматик 2 шт.	886 (141)	1051 (149)	1158 (154)	1235 (158)	1291 (160)	1335 (162)	1370 (164)	1398 (165)	1421 (166)
Динамик 2 шт.	898 (143)	1133 (161)	1304 (173)	1434 (183)	1536 (191)	1619 (197)	1686 (202)	1743 (206)	1791 (210)
Динамик - ВПР	798 (127)	979 (139)	1104 (147)	1196 (153)	1266 (157)	1321 (161)	1366 (164)	1403 (166)	1434 (168)
Дуоматик - ВПР	744 (118)	855 (121)	925 (123)	972 (124)	1007 (125)	1033 (126)	1053 (126)	1070 (127)	1084 (127)
ВПР 2 шт.	499 (80)	550 (78)	580 (77)	600 (77)	614 (76)	624 (76)	632 (76)	643 (75)	647 (75)

Из анализа полученных результатов выявлено, что при организации работы по выправке пути одной машиной эффективность по принятым параметрам зависит от фронта работ. При фронте работ в «окно» до 2,5 км работа машиной Динамик результативней в среднем на 15 % по продолжительности «окна» и на 20 % по выработке. При фронте работ от 2,5 до 6 км предпочтительней вариант Динамик в среднем на 24 и 31 % соответственно.

При парной работе машин Динамик или Дуоматик с машиной ВПР вариант с машиной Динамик выигрывает в среднем на 17 % по продолжительности «окна» и на 29 % по выработке.

От применения второй машины Дуоматик продолжительность «окна» снижается на 37 % , а выработка увеличивается на 60 %.

Наиболее эффективным вариантом при фронте работ до 3 км является Динамик–Дуоматик, продолжительность «окна» сокращается в среднем на 44 %, а выработка увеличивается на 65 % в сравнении с базовым вариантом.

При фронте работ свыше 3 км предпочтительнее использовать вариант работы двух машин Динамик, средняя продолжительность «окна» сокращается в 2 раза, а выработка увеличивается в среднем на 105 %.

При сравнении вариантов Дуоматик 2 шт. и Динамик 2 шт. выявлено, что существенная эффективность варианта из двух машин Динамик по продолжительности «окна» (в среднем на 11 %) и по выработке (в среднем на 36 %) проявляется при фронте работ свыше 2 км.

Увеличение выработки прямо пропорционально фронту работ, вместе с тем сокращается и продолжительность «окна» на 1 км, что связано с сокращением доли влияния времени на операции по приведению машин в рабочее и транспортное положение.

Наиболее эффективным как по продолжительности «окна», так и по выработке, независимо от фронта работ является варианты Динамик 2 шт. и Динамик-Дуоматик. Также существенный эффект проявляется от применения двух машин Дуоматик в одно «окно».

4.3 Технико-экономическое обоснование выбора варианта организации работ по выправке пути машинным комплексом

Для определения эффективности того или иного варианта организации работ по выправке пути необходимо учитывать не только выработку и продолжительность «окна», но также и экономический аспект. В частности, затраты на оплату выправочных машин определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{маш}} = n_{\text{мс}}^{\text{р}} \cdot C_{\text{мс}}^{\text{р}} + n_{\text{мс}}^{\text{п}} \cdot C_{\text{мс}}^{\text{п}}, \quad (4.16)$$

где $n_{\text{мс}}^{\text{р}}$, $n_{\text{мс}}^{\text{п}}$ – количество машино-смен работы выправочных машины в день «окна», соответственно для работы в «окно» и для пробега, ожидания, шт.;

$C_{\text{мс}}^{\text{р}}$, $C_{\text{мс}}^{\text{п}}$ – стоимость одной машино-смены, соответственно для соответствующего режима работы, р.

Количество машино-смен работы выправочных машин для работы в «окно» определяется по ведомости трудозатрат технологических процессов, в частности учитывается время работы машины и время на приведение машины в рабочее и транспортное положение. Остальное время смены – это время на пробег и ожидания:

$$n_{\text{мс}}^{\text{р}} + n_{\text{мс}}^{\text{п}} = 1. \quad (4.17)$$

Учитывая, что на практике в период пробега и ожидания эксплуатационные расходы на машину меньше, чем в период работы, принимается коэффициент снижения стоимости машино-смены $K = 0,8$, в связи с этим выполнение преобразований формулы (15) позволяет получить уравнения затрат на оплату работы выправочных машин в зависимости от их количества.

Вариант комплекса с 1 ведущей выправочной машиной:

$$\mathcal{E}_{\text{маш1}} = n_{\text{мс1}}^{\text{р}} \cdot C_{\text{мс}}^{\text{р}} + n_{\text{мс1}}^{\text{п}} \cdot C_{\text{мс}}^{\text{п}} = n_{\text{мс1}}^{\text{р}} \cdot C_{\text{мс}}^{\text{р}} + n_{\text{мс1}}^{\text{п}} \cdot 0,8C_{\text{мс}}^{\text{р}} = (0,2n_{\text{мс1}}^{\text{р}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс}}^{\text{р}}. \quad (4.18)$$

Вариант комплекса с 2 ведущими выправочными машинами

$$\mathcal{E}_{\text{маш2}} = (n_{\text{мс1}}^{\text{р}} \cdot C_{\text{мс1}}^{\text{р}} + n_{\text{мс1}}^{\text{п}} \cdot C_{\text{мс1}}^{\text{п}}) + (n_{\text{мс2}}^{\text{р}} \cdot C_{\text{мс2}}^{\text{р}} + n_{\text{мс2}}^{\text{п}} \cdot C_{\text{мс2}}^{\text{п}}) = (0,2 \cdot n_{\text{мс1}}^{\text{р}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс1}}^{\text{р}} + (0,2 \cdot n_{\text{мс2}}^{\text{р}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс2}}^{\text{р}}. \quad (4.19)$$

В случае использования однотипных выправочных машин:

$$\mathcal{E}_{\text{маш2}} = (0,2 \cdot (n_{\text{мс1}}^{\text{р}} + n_{\text{мс2}}^{\text{р}}) + 1,6) \cdot C_{\text{мс}}^{\text{р}}$$

Стоит учитывать, что для выявления наилучшего варианта организации выправочных работ машинным комплексом необходимо провести сравнение не только вариантов комбинации машин, но и варианты фронта работ, следовательно, количество необходимых «окон» на выполнение полного объема работ на перегоне (участке ППВ).

Сравнение параметра стоимости привлечения путевых машин по вариантам выполняется по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{маш}} = n_1 \cdot \mathcal{E}_{\text{маш}1} - n_2 \cdot \mathcal{E}_{\text{маш}2}, \quad (4.20)$$

где n_1 – потребное количество «окон» по 1 варианту (базовому, с 1 выправочной машиной) для выполнения ППВ на всей длине перегона (заявленного участка), шт.;

n_2 – потребное количество «окон» по 2 варианту (с двумя выправочными машинами) для выполнения ППВ на всей длине перегона (участка ППВ), шт.;

Сравнение варианта с 1 выправочной машиной с базовым вариантом:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{маш}} = (0,2 \cdot n_{\text{мс}2}^{\text{P}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс}}^{\text{P}} - (0,2 \cdot n_{\text{мс}1}^{\text{P}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс}}^{\text{P}}$$

Сравнение варианта с 2 выправочными машинами с базовым вариантом:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{маш}} = C_{\text{мс}1} (0,2n_{\text{мс}1} (1 \text{ вар}) + 1,6) - C_{\text{мс}1} (0,2n_{\text{мс}1} (2 \text{ вар}) + 0,8)$$

Затраты на задержку поездов, в соответствии с [57], складываются из двух основных составляющих:

$$\mathcal{E}_{\text{зп}} = \mathcal{E}_{\text{ок}} + \mathcal{E}_{\text{огп}}, \quad (4.21)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ок}}$ – затраты из-за простоя поездов во время «окна», р.;

$\mathcal{E}_{\text{огп}}$ – затраты на остановку грузового поезда, р.

Учет времени простоя поездов, по вариантам:

$$\mathcal{E}_{\text{ок}i} = n_i \cdot \Pi_i \cdot C_{\text{пч}}; \quad (4.22)$$

где n_i – количество потребных «окон» по i -ому варианту для выполнения ППВ на всей длине перегона (заявленного участка), шт.;

Π_i – потери поездо-часов в «окно», по i -ому варианту, ч;

$C_{\text{пч}}$ – стоимость 1 часа простоя поезда, руб.

Учет остановок грузовых поездов, по вариантам:

$$\mathcal{E}_{\text{оп}i} = n_i \cdot N_i \cdot C_{\text{оп}}; \quad (4.23)$$

где N_i – количество остановок грузовых поездов в «окно» и период восстановления движения, по i -ому варианту, ч;

$C_{\text{оп}}$ – стоимость остановки поезда, р.

Объемы потерь поездо-часов в «окно», количество остановок грузовых поездов в «окно» и период восстановления движения зависят от ряда эксплуатационных и технологических параметров.

Непосредственный расчет сравнительной затрат машинных комплексов проводится в зависимости от условий их работы как для двухпутного, так и для однопутного участка, с учетом организации пакетного и непaketного движения поездов. Изменение затрат при сравнении вариантов организации работы одним и двумя выправочными машинами определяется как:

$$\Delta \mathcal{E} = (\mathcal{E}_{\text{м1}} + \mathcal{E}_{\text{зп1}}) - (\mathcal{E}_{\text{м2}} + \mathcal{E}_{\text{зп2}}), \quad (4.24)$$

$$\mathcal{E} = (n_1 \cdot \mathcal{E}_{\text{маш1}} + n_1 \cdot \Pi_{t1} \cdot C_{\text{пч}} + n_1 \cdot N_1 \cdot C_{\text{оп}}) - (n_2 \cdot \mathcal{E}_{\text{маш2}} + n_2 \cdot \Pi_{t2} \cdot C_{\text{пч}} + n_2 \cdot N_2 \cdot C_{\text{оп}}). \quad (4.25)$$

Коэффициент сравнительной эффективности вариантов организации работ позволяет оперативно определять соотношение затрат на выполнение выправки:

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{(\mathcal{E}_{\text{м1}} + \mathcal{E}_{\text{зп1}})}{(\mathcal{E}_{\text{м2}} + \mathcal{E}_{\text{зп2}})} \quad (4.26)$$

В формуле принимается условие $\mathcal{E}_{\text{зп}} > 0$, при невыполнении этого условия задержек и остановок поездов не будет.

При организации двухстороннего пропуска поездов при ремонте двухпутного участка по пути, свободному от производства работ, объемы потерь поездо-часов в «окно» [18, 22]:

$$\Pi_t = (T_{\text{пер}} - J_{\text{сп}}) \cdot \frac{2 \cdot (T_{\text{пер}} - J_{\text{мин}})}{J_{\text{сп}} - J_{\text{мин}}} \cdot \frac{(t_{\text{ок}} + t_x)^2}{2T_{\text{пер}}^2}, \quad (4.27)$$

где $t_{\text{ок}}$ – продолжительность «окна», необходимого для выполнения соответствующего вида ремонта, ч;

t_x – время хода по участку, ч;

$T_{\text{пер}}$ – период пары поездов на временно однопутном участке, ч;

J_{\min} – минимальный интервал между поездами попутного следования, принимается 0,1 ч;

J_{cp} – средний интервал между поездами попутного следования, ч.

$$J_{\text{cp}} = \frac{24}{N_{\max}}, \quad (4.28)$$

где N_{\max} – максимальное количество поездов, обращающихся на участке, равное сумме грузовых и пассажирских и пригородных поездов, пар.

$$T_{\text{пер}} = t_{\text{туда}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{бс}} + t_c = 2 \cdot \frac{L_{\text{уч}}}{V} + 0,25; \quad (4.29)$$

$$t_x = \frac{L_{\text{уч}}}{V}, \quad (4.30)$$

где V – средняя скорость движения поездов по участку, принимается 80 км/ч.

После подстановки значений формула (4.26) приобретает вид:

$$P_t = \left(2 \cdot \frac{L_{\text{уч}}}{80} + 0,25 - \frac{24}{N_{\max}} \right) \cdot \frac{2 \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{уч}}}{80} + 0,25 - J_{\min} \right)}{\frac{24}{N_{\max}} - J_{\min}} \cdot \frac{(t_{\text{ок}} + t_x)^2}{2 \cdot \left(\frac{L_{\text{уч}}}{80} + 0,25 \right)^2}. \quad (4.31)$$

Количество остановок грузовых поездов в «окно» и период восстановления движения:

$$N = \frac{t_{\text{ок}} \cdot (T_{\text{пер}} - J_{\min})}{T_{\text{пер}} \cdot (J_{\text{cp}} - J_{\min})} \cdot 2. \quad (4.32)$$

После подстановки значений формула (38) приобретает вид:

$$N = \frac{t_{\text{ок}} \cdot \left(\left(2 \cdot \frac{L_{\text{уч}}}{80} + 0,25 \right) - J_{\min} \right)}{\left(2 \cdot \frac{L_{\text{уч}}}{80} + 0,25 \right) \cdot \left(\frac{24}{N_{\max}} - J_{\min} \right)} \cdot 2. \quad (4.32)$$

В соответствии с формулой (4.25):

$$\Delta \mathcal{E} = \left(n_1 \cdot (0,2 \cdot n_{\text{мс1}}^{\text{п}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс}}^{\text{п}} + n_1 \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 - \frac{24}{N_{\text{max}}} \right) \cdot \frac{2 \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 - J_{\text{min}} \right)}{\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}}} \cdot \frac{(t_{\text{ок1}} + t_{\text{x}})^2}{2 \cdot \left(\frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right)^2} \cdot C_{\text{пч}} + n_1 \cdot \frac{t_{\text{ок1}} \cdot \left(\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) - J_{\text{min}} \right)}{\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) \cdot \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}} \right)} \cdot 2 \cdot C_{\text{оп}} \right) -$$

$$\left(n_2 \cdot \left[(0,2 \cdot n_{\text{мс1}}^{\text{п}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс1}}^{\text{п}} + (0,2 \cdot n_{\text{мс2}}^{\text{п}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс2}}^{\text{п}} \right] + n_2 \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 - \frac{24}{N_{\text{max}}} \right) \cdot \frac{2 \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 - J_{\text{min}} \right)}{\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}}} \cdot \frac{(t_{\text{ок2}} + t_{\text{x}})^2}{2 \cdot \left(\frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right)^2} \cdot C_{\text{пч}} + \right.$$

$$\left. + n_2 \cdot \frac{t_{\text{ок2}} \cdot \left(\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) - J_{\text{min}} \right)}{\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) \cdot \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}} \right)} \cdot 2 \cdot C_{\text{оп}} \right)$$

При выполнении условия $\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 - \frac{24}{N_{\text{max}}} \right) > 0$:

$$\Delta \mathcal{E} = \left(n_1 \cdot (0,2 \cdot n_{\text{мс1}}^{\text{п}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс}}^{\text{п}} + \frac{\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 - \frac{24}{N_{\text{max}}} \right) \cdot 2 \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 - J_{\text{min}} \right) \cdot C_{\text{пч}}}{\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}}} \cdot \frac{n_1 \cdot (t_{\text{ок1}} + t_{\text{x}})^2}{2 \cdot \left(\frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right)^2} + \frac{t_{\text{ок1}} \cdot n_1 \cdot \left(\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) - J_{\text{min}} \right) \cdot 2 \cdot C_{\text{оп}}}{\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) \cdot \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}} \right)} \right) -$$

$$\left(n_2 \cdot \left[(0,2 \cdot n_{\text{мс1}}^{\text{п}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс1}}^{\text{п}} + (0,2 \cdot n_{\text{мс2}}^{\text{п}} + 0,8) \cdot C_{\text{мс2}}^{\text{п}} \right] + \frac{\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 - \frac{24}{N_{\text{max}}} \right) \cdot 2 \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 - J_{\text{min}} \right) \cdot C_{\text{пч}}}{\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}}} \cdot \frac{n_2 \cdot (t_{\text{ок2}} + t_{\text{x}})^2}{2 \cdot \left(\frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right)^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{t_{\text{ок2}} \cdot n_2 \cdot \left(\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) - J_{\text{min}} \right) \cdot 2 \cdot C_{\text{оп}}}{\left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) \cdot \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}} \right)} \right) \quad (4.33)$$

При невыполнении условия $\left(2 \cdot \frac{L_{yч}}{80} + 0,25 - \frac{24}{N_{\max}}\right) > 0$, задержек поездов не будет:

$$\Delta \Xi = \left(n_1 \cdot (0,2 \cdot n_{\text{мс1}}^p + 0,8) \cdot C_{\text{мс}}^p \right) - \left(n_2 \cdot \left[(0,2 \cdot n_{\text{мс1}}^p + 0,8) \cdot C_{\text{мс1}}^p + (0,2 \cdot n_{\text{мс2}}^p + 0,8) \cdot C_{\text{мс2}}^p \right] \right) \quad (4.34)$$

При организации пакетного двухстороннего пропуска поездов при ремонте двухпутного участка по пути, свободному от производства работ, объемы потерь поезdochасов в «окно» [64]:

$$\begin{aligned} \Pi_i = K \cdot n \cdot \left[T_{\text{пер}} \cdot (1+n) + J_{\text{мин}} \cdot (K-1) \cdot (1+n) + J_{\text{мин}} \cdot (K-1) \cdot n - J_{\text{сп}} \cdot (1+K \cdot n) \right] + \\ + 2 \cdot (N/2 - n \cdot K) \cdot \left[t_{\text{ок}} - 0,5 \cdot J_{\text{сп}} \cdot (1+N/2 + n \cdot K) + J_{\text{мин}} \cdot (K + 0,5(N/2 - n \cdot K - 1)) \right], \end{aligned} \quad (4.36)$$

где n – число периодов пакетного графика движения, шт.;

K – количество поездов в пакете, шт.;

N – количество остановок грузовых поездов в «окно» и период восстановления движения, шт.

$$N = \frac{t_{\text{ок}} - J_{\text{мин}} (K \cdot (n-1) + 1)}{(J_{\text{сп}} - J_{\text{мин}})} \cdot 2; \quad (4.37)$$

$$n = \frac{t_{\text{ок}}}{T_{\text{пер}}^{\text{пак}}} = \frac{t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yч}}{V} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{мин}} \cdot (K-1)}, \quad (4.38)$$

где $T_{\text{пер}}^{\text{пак}}$ – период пакетного графика движения, ч;

$$T_{\text{пер}}^{\text{пак}} = t_{\text{туда}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{ос}} + t_c + 2 \cdot J_{\text{мин}} \cdot (K-1) = 2 \cdot \frac{L_{yч}}{V} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{мин}} \cdot (K-1). \quad (4.39)$$

После подстановки значений формула (4.37) приобретает вид:

$$N = \frac{t_{\text{ок}} - J_{\text{мин}} \left(\frac{K \cdot t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yч}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{мин}} \cdot (K-1)} - K + 1 \right)}{\left(\frac{24}{N_{\max}} - J_{\text{мин}} \right)} \cdot 2 \quad (4.40)$$

Среднее оптимальное количество поездов в пакете

$$K = \frac{T_{\text{пер}} - 2 \cdot J_{\text{мин}}}{J_{\text{сп}} - 2 \cdot J_{\text{мин}}}. \quad (4.41)$$

После подстановки значений формула (4.36) приобретает вид:

$$\begin{aligned}
 \Pi_t = & K \cdot \left[\frac{t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} \right] \cdot \left[\left(2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 \right) \cdot \left(1 + \frac{t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} \right) + J_{\text{min}} \cdot (K-1) \cdot \left(1 + \frac{t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} \right) \right] + \\
 & + J_{\text{min}} \cdot (K-1) \cdot \left[\frac{t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} - \frac{24}{N_{\text{max}}} \cdot \left(1 + K \cdot \frac{t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} \right) \right] + \\
 & + 2 \cdot \left[\frac{\left(t_{\text{ок}} - J_{\text{min}} \cdot \frac{K \cdot t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} - K + 1 \right)}{\left(\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}} \right)} \cdot 2 - \left(\frac{t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} \right) \cdot K \right] \cdot \\
 & \left[t_{\text{ок}} - 0,5 \cdot \frac{24}{N_{\text{max}}} \cdot \left(1 + \frac{\left(t_{\text{ок}} - J_{\text{min}} \cdot \frac{K \cdot t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} - K + 1 \right)}{\left(\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}} \right)} \cdot 2 + \left(\frac{t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} \right) \cdot K \right) + \right. \\
 & \left. + J_{\text{min}} \cdot (K + 0,5) \cdot \left(\frac{\left(t_{\text{ок}} - J_{\text{min}} \cdot \frac{K \cdot t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} - K + 1 \right)}{\left(\frac{24}{N_{\text{max}}} - J_{\text{min}} \right)} \cdot 2 - \left(\frac{t_{\text{ок}}}{2 \cdot \frac{L_{yq}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1)} \right) \cdot K - 1 \right) \right]
 \end{aligned}$$

$$K = \frac{2 \cdot \frac{L_{yc}}{V} + 0,25 - 2 \cdot J_{\min}}{\frac{24}{N_{\max}} - 2 \cdot J_{\min}} \quad (4.42)$$

В соответствии с формулой (4.25):

$$\Delta \Theta = \left[\begin{aligned} & n_1 \cdot (0,2 \cdot n_{\text{MC1}}^p + 0,8) \cdot C_{\text{MC}}^p + n_1 \cdot C_{\text{ПЧ}} \cdot \Pi_{t1} + \\ & t_{\text{ок1}} - J_{\min} \left(\frac{K \cdot t_{\text{ок1}}}{2 \cdot \frac{L_{yc}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\min} \cdot (K-1)} - K + 1 \right) \\ & + \frac{\left(\frac{24}{N_{\max}} - J_{\min} \right)}{\left(\frac{24}{N_{\max}} - J_{\min} \right)} \cdot 2 \cdot n_1 \cdot C_{\text{он}} \end{aligned} \right] - \quad (4.43)$$

$$- \left[\begin{aligned} & n_2 \cdot \left[(0,2 \cdot n_{\text{MC1}}^p + 0,8) \cdot C_{\text{MC1}}^p + (0,2 \cdot n_{\text{MC2}}^p + 0,8) \cdot C_{\text{MC2}}^p \right] + n_2 \cdot C_{\text{ПЧ}} \cdot \Pi_{t2} + \\ & t_{\text{ок2}} - J_{\min} \left(\frac{K \cdot t_{\text{ок2}}}{2 \cdot \frac{L_{yc}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\min} \cdot (K-1)} - K + 1 \right) \\ & + \frac{\left(\frac{24}{N_{\max}} - J_{\min} \right)}{\left(\frac{24}{N_{\max}} - J_{\min} \right)} \cdot 2 \cdot n_2 \cdot C_{\text{он}} \end{aligned} \right]$$

При организации двухстороннего пропуска поездов при ремонте однопутного участка по пути, объемы потерь поездо-часов в «окно» [331; 333]:

$$\Pi_t = \frac{t_{\text{ок}}^2 \cdot N_{\max}}{T_{\text{пер}} (N_{\text{nc}} - 0,5 \cdot N_{\max}) - J_{\min} \cdot N_{\max}} - t_{\text{ок}}, \quad (4.44)$$

где N_{nc} – пропускная способность поездов, пар.

$$N_{\text{nc}} = \frac{24}{T_{\text{пер}}}$$

После подстановки:

$$\begin{aligned} \Pi_t &= \frac{t_{\text{ок}}^2 \cdot N_{\max}}{T_{\text{пер}} \left(\frac{24}{T_{\text{пер}}} - 0,5 \cdot N_{\max} \right) - J_{\min} \cdot N_{\max}} - t_{\text{ок}} = \frac{t_{\text{ок}}^2 \cdot N_{\max}}{24 - 0,5 \cdot N_{\max} \cdot T_{\text{пер}} - J_{\min} \cdot N_{\max}} - t_{\text{ок}} = \\ &= \frac{t_{\text{ок}}^2 \cdot N_{\max}}{24 - 0,5 \cdot N_{\max} \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{yc}}{80} + 0,25 \right) - J_{\min} \cdot N_{\max}} - t_{\text{ок}} \end{aligned} \quad (4.45)$$

Количество остановок поездов:

$$N = \frac{2t_{\text{ок}}}{J_{\text{cp}}} + \frac{\frac{2t_{\text{ок}}}{J_{\text{cp}}} \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)}{J_{\text{cp}}} + \frac{\frac{2t_{\text{ок}}}{J_{\text{cp}}} \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)^2}{KJ_{\text{cp}}^2};$$

$$N = \frac{2t_{\text{ок}}}{J_{\text{cp}}} + \frac{2t_{\text{ок}} \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)}{KJ_{\text{cp}}^2} + \frac{2t_{\text{ок}} \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)^2}{K^2 J_{\text{cp}}^3}. \quad (4.46)$$

После подстановки:

$$N = \frac{2t_{\text{ок}}}{\frac{24}{N_{\text{max}}}} + \frac{2t_{\text{ок}} \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)}{K \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} \right)^2} + \frac{2t_{\text{ок}} \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)^2}{K^2 \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} \right)^3} \quad (4.47)$$

Итого, в соответствии с формулой (4.25):

$$\Delta \mathcal{E} = \left(n_1 \cdot \mathcal{E}_{\text{маи1}} + n_1 \cdot \sum \Pi_{\text{т1}} \cdot C_{\text{пч}} + n_1 \cdot \sum N_1 \cdot C_{\text{он}} \right) - \left(n_2 \cdot \mathcal{E}_{\text{маи2}} + n_2 \cdot \sum \Pi_{\text{т2}} \cdot C_{\text{пч}} + n_2 \cdot \sum N_2 \cdot C_{\text{он}} \right)$$

$$\Delta \mathcal{E} = \left(n_1 \cdot (0,2 \cdot n_{\text{mc1}}^{\text{p}} + 0,8) \cdot C_{\text{mc}}^{\text{p}} + n_1 \cdot \left(\frac{t_{\text{ок1}}^2 \cdot N_{\text{max}}}{24 - 0,5N_{\text{max}} \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) - J_{\text{min}} \cdot N_{\text{max}}} - t_{\text{ок1}} \right) \cdot C_{\text{пч}} + \right. \\ \left. + n_1 \cdot \left(\frac{2t_{\text{ок1}}}{\frac{24}{N_{\text{max}}}} + \frac{2t_{\text{ок1}} \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)}{K \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} \right)^2} + \frac{2t_{\text{ок1}} \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)^2}{K^2 \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} \right)^3} \right) \cdot 2 \cdot C_{\text{он}} \right) - \\ \left(n_2 \cdot \left[(0,2 \cdot n_{\text{mc1}}^{\text{p}} + 0,8) \cdot C_{\text{mc1}}^{\text{p}} + (0,2 \cdot n_{\text{mc2}}^{\text{p}} + 0,8) \cdot C_{\text{mc2}}^{\text{p}} \right] + \right. \\ \left. + n_2 \cdot \left(\frac{t_{\text{ок2}}^2 \cdot N_{\text{max}}}{24 - 0,5N_{\text{max}} \cdot \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 \right) - J_{\text{min}} \cdot N_{\text{max}}} - t_{\text{ок2}} \right) \cdot C_{\text{пч}} + \right. \\ \left. + n_2 \cdot \left(\frac{2t_{\text{ок2}}}{\frac{24}{N_{\text{max}}}} + \frac{2t_{\text{ок2}} \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)}{K \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} \right)^2} + \frac{2t_{\text{ок2}} \left(2 \cdot \frac{L_{\text{yч}}}{80} + 0,25 + 2 \cdot J_{\text{min}} \cdot (K-1) \right)^2}{K^2 \left(\frac{24}{N_{\text{max}}} \right)^3} \right) \cdot 2 \cdot C_{\text{он}} \right) \quad (4.48)$$

На основе представленных расчетов, для проведения определения наиболее эффективного варианта организации выправочных работ необходимы следующие условия участка работ: длина перегона (общий объем работ ППВ), количество пар поездов, вид организации движения поездов, необходимость в выгрузке балласта и потребный его объем, средняя эпюра шпал. После этого проводится расчет и определяется наиболее эффективные варианты, в зависимости от типа выправочной машины, их комбинаций, фронта работ и времени «окна».

Для расчетов принимается стоимость эксплуатации выправочных машин из таблицы 4.4. Данные значения получены из отчетной документации Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры, в частности акты сдачи километра для производства работ и премке выполненных работ (ПУ-48) и калькуляции по расчету стоимости работы путевых машин.

Таблица 4.4 – Стоимость одной машино-смены выправочной машины, руб.

Тип машины	Планы по годам	
	2020	2021
Дуоматик 09-32	62869	88104
Динамик 3х	141418	204440

Стоимость часа простоя и остановки грузового поезда приняты в соответствии с Распоряжением №127/р от 26.01.2021 [88], соответственно 2239 и 812 руб.

На основе проведенных многовариантных расчетов автор сделал ряд выводов в части организации технологического процесса выправки пути в рамках ППВ.

Исходя из текущего соотношения стоимости эксплуатации выправочных машин, машину Динамик следует направлять на одиночные «окна» с максимальной продолжительностью «окна».

Применение наиболее эффективного варианта с точки зрения продолжительности «окна» и выработки (Динамик-Дуоматик) является ограниченным с учетом экономического аспекта по причине высокой стоимости эксплуатации машины Динамик. Несмотря на это, исходя из наличия данной

машины в парке дорог, данный вариант следует применять на участках с высокой интенсивностью движения (более 100 пар поездов в сутки) и при существенных ограничениях по продолжительности «окна» для достижения максимальной выработки.

В случае организации работы одиночной машины (Дуоматик или Динамик) стоимость выправки всего перегона (участка ППВ) существенно снижается с уменьшением количества «окон», а соответственно, с увеличением фронта работ.

Анализ результатов расчета по разработанной методике показал, что эффективность применения двух выправочных машин в «окно» с экономической точки зрения имеет определенные границы, зависящие от интенсивности движения поездов на участке и длины перегона (участка ППВ) при условии, что отсутствуют ограничения по времени «окна».

Для определения границ эффективности применения организации работ с применением двух машин Дуоматик (рисунок 4.9) были проведены расчеты эффективности варианта Дуоматик - Дуоматик в сравнении вариантом Дуоматик в зависимости от длины участка, интенсивности движения и количества «окон» на выполнение полного объема работ по выправке пути.

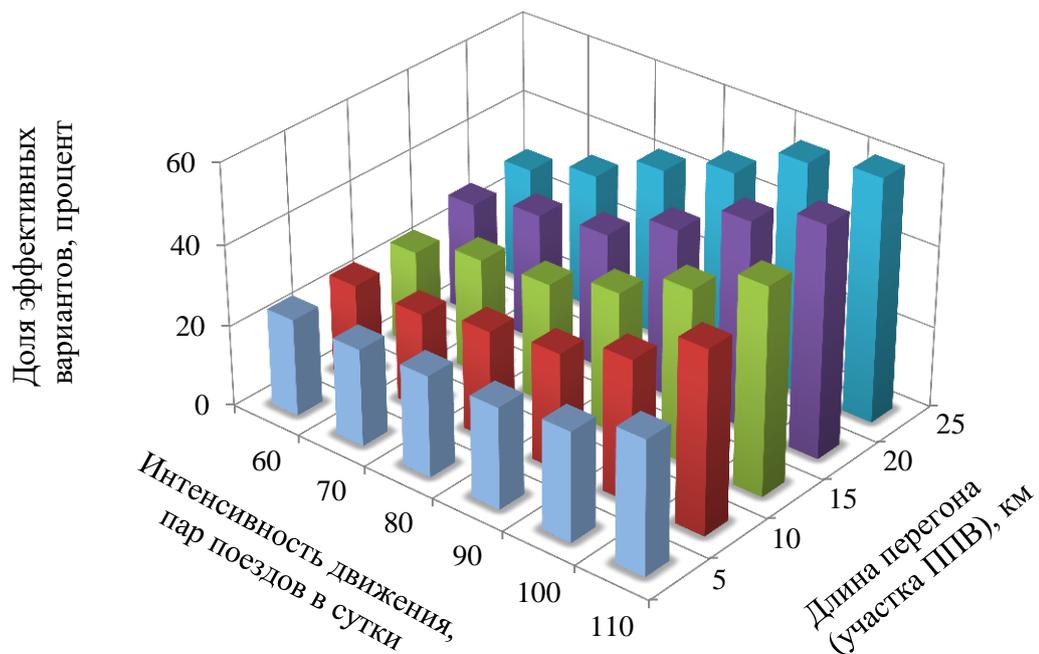


Рисунок 4.9 – Границы эффективности организации работ с двумя выправочными машинами Дуоматик

Границы определялись из соотношения эффективных вариантов комбинации Дуомати – Дуоматик к вариантам при одной машине Дуоматик на основе построения матриц сравнения.

Исходя из результатов расчета видно, что наибольшая доля эффективности вариантов организации работы с двумя выправочными машинами приходится на участки, где интенсивность движения поездов свыше 70 пар, а полный объем работ по выправке пути (длина перегона) свыше 15 км.

Для примера в таблице 4.5 представлена матрица сравнения вариантов организации технологического процесса выправки пути машинным комплексом для участка пути 18 км.

Таблица 4.5 – Фрагмент матрицы сравнения вариантов организации работ при интенсивности 100 пар поездов в сутки и длине перегона 18 км

$K_{\text{э}} = \frac{(\text{Э}_{\text{м1}} + \text{Э}_{\text{зп1}})}{(\text{Э}_{\text{м2}} + \text{Э}_{\text{зп2}})}$		при	Дуоматик 1 шт.					
		n	3	4	5	6	7	8
при	n	T_i	6,7	5,2	4,2	3,6	3,2	2,8
Дуоматик 2 шт.	2	5,7	1,35	1,52	1,69	1,87	2,04	2,21
	3	4,0	1,07	1,21	1,35	1,49	1,62	1,76
	4	3,1	0,89	1,01	1,12	1,23	1,35	1,46
	5	2,6	0,76	0,86	0,96	1,06	1,15	1,25
	6	2,3	0,67	0,75	0,84	0,92	1,01	1,09
	7	2,0	0,59	0,67	0,75	0,82	0,90	0,97

Примечание: $K_{\text{э}}$ - коэффициент сравнительной эффективности работы машинных комплексов

T_i - продолжительность «окна» по выправке пути, ч;

n - количество «окон» в варианте, шт.

При условии отсутствия ограничения по продолжительности «окна» с точки зрения соотношения затрат на одно «окно» и на выправку 1 км пути наиболее предпочтительным вариантом для одной машины Дуоматик является организация работ в 4 «окна». Коэффициент сравнительной эффективности при организации работ с двумя машинами Дуоматик в 2 «окна» составляет 1,52, что соответствует сокращению затрат на проведение выправки пути на 440 тыс. рублей.

На участках, где объем работ менее 15 км, интенсивность движения составляет свыше 70 также существуют варианты эффективного применения двух выправочных машин, но экономический эффект от их применения будет существенно ниже.

При наличии ограничения по продолжительности «окна» актуальность применения данной методики становится выше (рисунок 4.8). Так при средней продолжительности «окна» на ППВ в 3,3 ч (согласно анализу статистики по ЗСЖД) проведение ППВ на участках с интенсивностью движения свыше 70 пар поездов в сутки получена сравнительная эффективность от применения двух выправочных машин, которая увеличивается с ростом объема работ (длины участка ППВ) и интенсивности движения поездов.

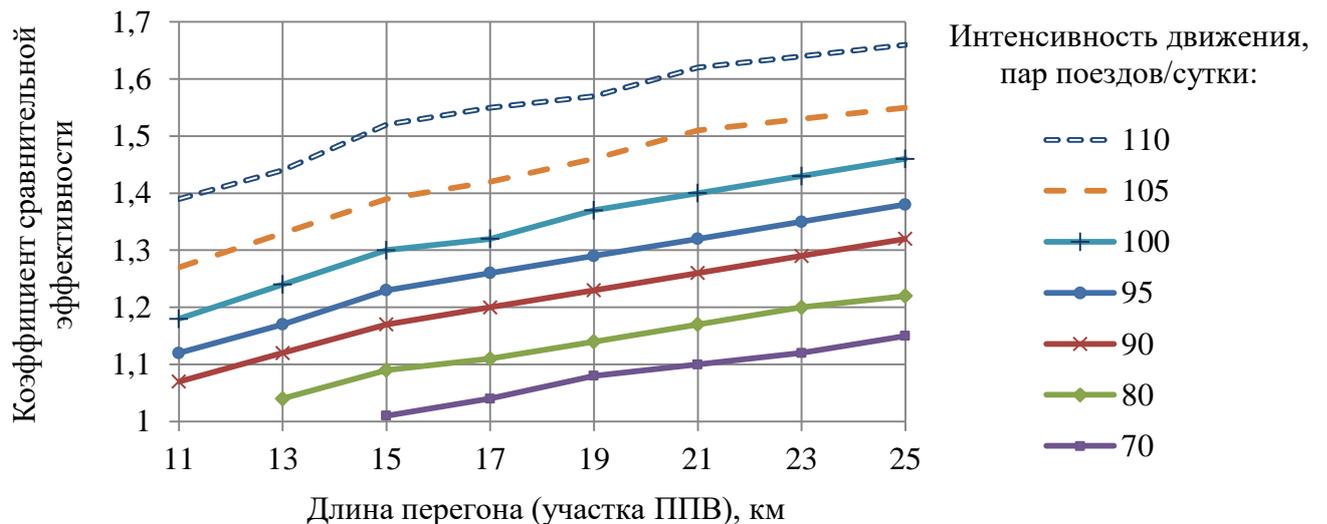


Рисунок 4.10 – Зависимость экономического эффекта от организации работы двух выправочных машин при ограничении продолжительности «окна» 3,3 ч

Таким образом, предложенная имитационная модель организации выправки пути машинным комплексом позволяет определять наиболее эффективный вариант в зависимости от условий работ, как для работы одиночной выправочной машиной, так и для различных комбинаций из двух выправочных машин.

Выводы по главе

Существующие схемы периодичности капитальных и промежуточных ремонтов не имеют конкретных рекомендаций по корректировкам в сложных условиях эксплуатации для особогрузонапряженных участков. В ходе анализа влияния проведения ППВ на объемы работ по текущему содержанию рельсовой колеи в плане и профиле выявлено, что с ростом пропущенного тоннажа

существенно снижается эффективность ППВ. При пропуске тоннажа в диапазоне от 300 до 600 млн. т брутто на особогрузонапряженных участках Сибири технологический процесс выправки пути машинными комплексами следует проводить каждые 2 года, а в диапазоне от 600 до 900 млн. т брутто – ежегодно.

Автором выявлены наиболее эффективные варианты комбинаций машин с точки зрения продолжительности «окна» и выработки. При фронте работ свыше 3 км наиболее эффективным вариантом является вариант из двух машин Динамик, при фронте работ до 3 км – комбинация Динамик-Дуоматик. Также существенная эффективность проявляется от применения двух машин Дуоматик, либо Динамик в одно «окно». В среднем сокращение продолжительности «окна» по выправке в сравнении с базовым вариантом (Дуоматик 1 шт.) составляет 37 и 47 % соответственно, средняя выработка увеличивается на 60 и 90 %.

В ходе имитационного моделирования различных вариантов организации работ были выявлены границы эффективности применения вариантов из двух выправочных машин, которые зависят от длины участка ППВ и интенсивности движения поездов. Автором выявлено, что сравнительная эффективность от организации технологического процесса выправки пути с двумя машинами Дуоматик растет с увеличением интенсивности движения, а также объема работ, выраженного длиной перегона.

Разработанная автором имитационная модель организации работы выправки пути машинными комплексами позволяет определить наиболее эффективный вариант с учетом типа и количества выправочных машин, длины перегона, эпюры шпал, потребности в балластном материале, фронта работ, интенсивности движения поездов и ограничения по продолжительности «окна». Использование имитационной модели позволит повысить эффективность планирования и организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам за счет рационального распределения выправочных машин при проведении ППВ, сократив тем самым трудозатраты на содержание рельсовой колеи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведены исследования по влиянию сложных климатических и эксплуатационных условий на состояние ГРК на основе исходных данных особогрузонапряженных участков Транссиба и Средсиба. Климатические особенности региона существенным образом увеличивают количество отступлений по ГРК в весенний период (в 1,5 – 5 раз) по причине неравномерной осадки подшпального основания, что должно учитываться при планировании и организации планово-предупредительных работ по содержанию рельсовой колеи. Также выявлено, что организация работ по снегоборьбе приводит к сокращению уровня трудовых ресурсов (в среднем в 2,4 раза), выделяемых на содержание рельсовой колеи. Это влечет за собой снижение объема выполненных планово-предупредительных работ, а соответственно влияет на безопасность и бесперебойность движения поездов с установленными скоростями. На особогрузонапряженных участках железнодорожного пути динамика отступлений по ширине колеи в значительной степени увеличивается после пропуска 650–750 млн. т брутто. С увеличением доли кривых (с 0,69 до 0,92) и уменьшением радиуса (с 1050 до 420 м) растет среднее количество отступлений по уширению колеи (в 1,9 раз) и в плане (в 1,7 раз). В то время как количество отступлений в профиле увеличивается незначительно (рост перекоса в 1,25 раз, просадки в 1,2 раза). Также выявлено, что при увеличении осевой нагрузки на 4,7 % в диапазоне от 125 до 145 кН происходит увеличение вертикальных сил на 14 %, что существенно влияет на состояние элементов железнодорожного пути, в первую очередь приводит к увеличению интенсивности отступлений в профиле (просадка и перекос).

2. Рост общей трудоемкости работ по текущему содержанию пути приводит к сокращению объемов планово-предупредительных работ в сложных климатических и эксплуатационных условиях. Используемая в настоящее время система планирования и организации работ по текущему содержанию пути нуждается в дополнительных средствах поддержки принятия решений в части планирования и организации содержания рельсовой колеи. Разработана и предложена методика планирования и организации производственного процесса

содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам. На основе системы поддержки принятия решений, которая позволяет обоснованно принимать решения в части распределения трудовых ресурсов на линейном участке дистанции пути с учетом условий эксплуатации, прогноза развития отступлений на основе СКО и моделирования организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи.

3. Разработана математическая модель организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи в профиле, плане, по уровню и ширине на основе оценки технологически необходимых трудозатрат. Математическая модель может использоваться как средство планирования и управления производственным процессом содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам. Это позволит осуществлять планирование и организацию планово-предупредительных работ по содержанию рельсовой колеи с устранением отступлений в полном объеме.

4. Разработана и предложена имитационная модель организации выправки пути машинным комплексом. Использование данной модели позволяет определить наиболее эффективный вариант организации работ в зависимости от ряда факторов: тип и количество выправочных машин, длина перегона, эпюра шпал, потребность в балластном материале, фронт работ, интенсивность движения поездов и ограничение по продолжительности «окна». Определены наиболее эффективные варианты организации работ с целью сокращения продолжительности «окна» и увеличения выработки машинных комплексов. Выявлены границы эффективности применения выправочного комплекса из двух машин Дуоматик, определяемые длиной перегона и интенсивностью движения поездов.

Перспективой дальнейших исследований является развитие математической модели организации технологических процессов содержания железнодорожного пути с использованием цифрового двойника линейного участка, что позволит усовершенствовать методику планирования и организации текущего содержания пути в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурашидов, А. Ю. Надежность работы железнодорожных рельсов в различных климатических условиях / А. Ю. Абдурашидов, М. Н. Георгиев, Л. Г. Крысанов // Вестник ВНИИЖТа. – 1987. – № 5. – С. 49–52.
2. Аккерман, Г. Л. Определение мест выброса пути по данным прохода вагонов-путеизмерителей / Г. Л. Аккерман, А. С. Носкова // Инновационный транспорт. – 2018. – № 3. С. 29–32.
3. Аккерман, Г. Л. Организация планирования ремонтов по восстановлению равноупругости железнодорожного пути / Г. Л. Аккерман, А. К. Гавриленко // Транспорт Урала. – 2007. – № 3. – С 83–86.
4. Аккерман, Г. Л. Влияние отступлений в плане на устойчивость бесстыкового пути / Г. Л. Аккерман, М. А. Скутина // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах. Материалы МНПК. – 2018. –С. 237–238.
5. Алтынников Д. С. Анализ деформаций железнодорожного пути на участках к подходов к металлическим мостам с безбалластным мостовым полотном на Восточно-Сибирской железной дороге / Д. С. Алтынников, Д. А. Ковенькин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 4. – С.176–183.
6. Асалханова, Т. Н. Организация транспортного производства путевых работ с учетом информационного моделирования / Т. Н. Асалханова, А. А. Осколков // Транспорт Урала. – 2021. – № 3. – С. 65–67.
7. Асалханова, Т. Н. Проблемные зоны эксплуатации системы ЕК АСУИ / Т. Н. Асалханова // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Т. 1. – С. 504–510.
8. Атякин, Д. И. Сквозные «окна» как ресурс ремонта / Д. И. Атякин, Н. И. Коваленко // Мир транспорта. – 2011. – № 5. – С. 120–123.
9. Ашпиз, Е. С. Актуальные проблемы обеспечения надежности земляного полотна на восточном полигоне / Е. С. Ашпиз // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 9. – С. 28–31.
10. Ашпиз, Е. С. О влиянии тяжеловесного движения на земляное полотно / Е. С. Ашпиз // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 7. С. 50–53.

11. Ашпиз, Е.С. Основная площадка при осевых нагрузках 27 тс / Е. С. Ашпиз, В. В. Виноградов // Путь и путевое хозяйство – 2019. – № 12. – С. 22–25.
12. Ашпиз, Е.С. Мониторинг высоких насыпей при введении тяжеловесного движения / Е. С. Ашпиз, А. П. Шмаков // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 2. – С. 21–25.
13. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен // М. : Радио и связь, 1988. – 392 с.
14. Бельтюков, В. П. К вопросу об улучшении среднесрочного планирования путевых работ / В. П. Бельтюков, И. А. Симонюк // Известия ПГУПС. – 2016. – № 4. – С. 472–477.
15. Бельтюков, В. П. Оптимизация системы содержания верхнего строения железнодорожного пути / В.П. Бельтюков // Известия ПГУПС. – 2016. – № 2. – С. 112–120.
16. Бельтюков, В. П. Оптимизация возвышения наружного рельса в железнодорожных кривых на основе стоимости межремонтного цикла / В. П. Бельтюков, А. В. Андреев // Бюллетень результатов научных исследований. – 2021. – №3. – С. 34–43.
17. Бехер, С. А. Разработка средств мониторинга динамических процессов взаимодействия колес и рельсов в эксплуатации / С. А. Бехер, Т. В. Сыч, А. О. Коломеец, А. С. Кочетков // Вестник СГУПС. – 2018. – № 3. – С. 33–42.
18. Богачев, А. И. Определение оптимальных размеров «окон» в графике движения поездов для электрификации двухпутных участков и среднего ремонта пути / Вестник ВНИИЖТа. – 1961. – № 1. – С.46–50.
19. Бредюк, Г. П. Влияние мерзлотных процессов на прочность грунтов и устойчивость земляного полотна при протаивании / Г. П. Бредюк, Г. Д. Михайлов // Сооружение земляного полотна железной дороги Новокузнецк - Абакан - Тайшет. – М. – 1970. – С. 135–142.
20. Бредюк, Г. П. Пучинные деформации и состояние пути / Г. П. Бредюк // Путь и путевое хозяйство. – 1992. – № 9. – С. 16–17.
21. Бредюк, Г. П. Сезонные деформации железнодорожного пути и допустимая величина морозного пучения на грузонапряженных участках / Г. П. Бредюк, Г. К. Щепотин // Инженерно-геокриологические проблемы Забайкалья: сб. тез. докл. и сообщ. к предстоящей конф. – Чита, 1987. – С. 124–125

22. Быкадоров, С. А. Экономическая оценка организации путевых ремонтных работ на железнодорожном транспорте: монография / С. А. Быкадоров, П. В. Куренков, О. В. Иванчина // Самара: СамГУПС. – 2007. – 116 с.

23. Выявление нестабильных участков пути и прогнозирование их состояния: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / А.В. Дворников // РГОТУПС М. – 2008. – 146 с.

24. Давыдов, А. В. Управление трудовыми ресурсами: монография / А. В. Давыдов, А. П. Дементьев // Новосибирск. : СГУПС. – 2008. – 131 с.

25. Давыдов, А. В. Организационные основы управления человеческими ресурсами транспортной компании / А. В. Давыдов, А. П. Дементьев // Экономические аспекты логистики и качества работы железнодорожного транспорта. Материалы НПК. – 2013. – С. 396–403.

26. Державин, А. Н. Моделирование технического состояния пути при наработке тоннажа выше нормативного / А. Н. Державин, Н.М.И. Лысенко, Н. И. Коваленко // Мир транспорта. – 2018. №1. – С. 164–183.

27. Единая методика расшифровки измерений и оценки параметров состояния рельсовой колеи мобильными диагностическими средствами. Утверждена распоряжением Центральной дирекции инфраструктуры №ЦДИ-960/р. М. – 2020. – 89 с.

28. Ермаков, В. М. Интенсивность расстройств рельсовой колеи в вертикальной плоскости на различных участках бесстыкового пути / В. М. Ермаков, М. А. Егоров // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 9. – С. 25–28.

29. Ермаков, В. М. Новый подход к планированию путевых работ / В. М. Ермаков // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 49–50.

30. Ермаков, В. М. Оптимизация затрат на техническое обслуживание железнодорожного пути / В. М. Ермаков, А. Н. Акашов // Железнодорожный транспорт. – 2009. – №12. – С. 32–35.

31. Ермаков, В. М. Технические требования к путевым машинам для реализации цифровой технологии ремонта пути / В. М. Ермаков, Д. С. Манойло // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 9. – С. 30–33.

32. Железнов, М. М. Влияние длительности и частоты приложения нагрузки

на напряженно-деформированное состояние пути / М. М. Железнов, В. О. Певзнер, В. П. Соловьев [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2018. – № 6. – С. 362–367.

33. Инструкция о порядке мониторинга параметров устройства и содержания пути по данным диагностических средств. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №2762р от 29.12.2012 г. М. – 2012. – 28 с.

34. Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №436/р от 28.02.2020 г. М. – 2020. – 115 с.

35. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. Распоряжение №2288/р. М. – 2016. – 286 с.

36. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №2544/р от 14.12.2016 г. М. – 2016. – 176 с.

37. Каменский, В. Б. Оценка геометрических параметров пути методом математической статистики / В. Б. Каменский // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 3. – С. 6–13.

38. Каргапольцев, Д. В. Проектирование криволинейных участков пути / Д. В. Каргапольцев, Г. Л. Аккерман // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 2. – С. 107–110.

39. Карпущенко, Н. И. Затраты труда и расчет численности монтеров пути при участковой системе // Н. И. Карпущенко, А. В. Быстров, П. С. Труханов // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 2–7.

40. Карпущенко, Н. И. Организация текущего содержания пути с использованием данных вагонов-путеизмерителей / Н. И. Карпущенко, А. В. Быстров // Экономика железных дорог. – 2016. – № 9. – С. 85–91.

41. Карпущенко, Н. И. Планирование работ по текущему содержанию пути с использованием данных вагонов-путеизмерителей / Н. И. Карпущенко, А. В. Быстров, П. С. Труханов // Известия Транссиба. – 2014. – № 4. – С. 118–123.

42. Карпущенко, Н. И. Планирование регулировки рельсовой колеи с

использованием данных вагонов-путеизмерителей // Н. И. Карпущенко, А. В. Быстров, И. В. Мурзин, П. С. Труханов // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 10. – С. 25–27.

43. Карпущенко, Н. И. Регрессионный анализ процессов нарастания износа рельсов и вероятность их безотказной работы в кривых участках пути / Н. И. Карпущенко, Д. В. Величко, Е. С. Антерейкин // Вестник СГУПС. – 2012. – № 28. – С. 6–15.

44. Коваленко, Н. И. Применение цифровизации при планировании контингента по техническому обслуживанию железнодорожной инфраструктуры / Н. И. Коваленко, В. А. Бучкин, Ю. А. Быков, Е. Н. Гринь // Мир транспорта. – 2021. – №2. – С. 116–121.

45. Коваленко, Н. И. Особенности выполнения работ по выправке пути одиночными путевыми машинами / Н. И. Коваленко, Н. А. Коваленко // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – № 2. – С. 94–100.

46. Коваленко, Н. И. Применение системы ЕК АСУИ при планировании работ путевого хозяйства ОАО «РЖД» / Н. И. Коваленко, Д. О. Суворова, И. В. Аноховская // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – № 1. – С. 78–87.

47. Коваленко, Н. И. Производственно-нормативное планирование при управлении ресурсами железнодорожной инфраструктуры / Н. И. Коваленко, А. Н. Коваленко // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 37–39.

48. Коваленко, Н. И. Совершенствование технического обслуживания путевой инфраструктуры / Н. И. Коваленко, В. А. Бучкин, Ю. А. Быков // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 8. – С. 24–26.

49. Конструктивно-технологические и организационные решения по повышению стабильности геометрии рельсовой колеи на участках обращения поездов повышенного веса и длины: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.22 / А. Н. Акашов // МИИТ – М. – 2010. – 134 с.

50. Коссов, В. С. Влияние «сухих» выплесков на взаимодействие подвижного состава и пути // В. С. Коссов, О. Г. Краснов, М. Г. Акашев // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 5. – С. 6–8.

51. Коссов, В. С. Влияние влажных выплесков на силовое взаимодействие подвижного состава и пути // В. С. Коссов, О. Г. Краснов, М. Г. Акашев // Путь и

путевое хозяйство. – 2020. – №1. – С. 29–32.

52. Крейниз, З. Л. Совершенствование системы диагностики железнодорожного пути / З. Л. Крейнис, А. А. Сеньковский // Тезисы докладов IV межвузовской научно-технической конференции. М. – 1999. – С.102–104.

53. Крейниз З. Л. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути / З. Л. Крейниз, В. П. Коршикова // УМК МПС России. М. – 2001. – 549 с.

54. Дьяконов, В. Н. Методика и результаты исследований хрупкости и хладноломкости рельсов / В. Н. Дьяконов, Г. В. Зароченцев, В. Р. Тарасова [и др.] // Повышение качества железнодорожных рельсов и колес. – 1982. – С. 69–75.

55. Методика классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД». Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №3048р от 23 декабря 2015 г. М. – 2015. – 7 с.

56. Методические основы выбора способов текущего содержания пути на участках высокой грузонапряженности. : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / А. А. Еремушкин // ВНИИЖТ – М. – 2004. – 134 с.

57. Методические рекомендации по расчету ущерба от транспортных происшествий и иных связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта событий в ОАО «РЖД». Распоряжение ОАО «РЖД» № 681р от 3 апреля 2008 г. М. – 2008. – 51 с.

58. Мишин, В. В. Комплексный показатель состояния геометрии пути / В. В. Мишин, В. О. Певзнер, Б. Н. Зензиков //Ж.-д. транспорт. Сер. «Путь и путевое хозяйство»: ЭИ/ ЦНИИТЭИ МПС. –1999. – Вып. 3. – С. 1–15.

59. Модификация свойств балластной призмы полимерными вяжущими материалами. : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / Я. М. Ярмоллов // РГУПС – Ростов-на-Дону. – 2020. – 166 с.

60. Нормирование отводов неровностей рельсовых нитей в плане: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.06 / К. В. Клементьев // ВНИИЖТ – М. – 2018. – 121 с.

61. Нормы времени на работы по текущему содержанию пути. Часть 1. Работы по балласту и шпалам. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» №2707/р от 22.12.2017. М. – 2017. – 115 с.

62. Нормы времени на работы по текущему содержанию пути. Часть 2. Работы по рельсам и скреплениям. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» №22/р от 11.01.2018. М. – 2018. – 395 с.

63. Овчинников, Д. В. Метод оценки устойчивости бесстыкового пути под поездной нагрузкой / Д. В. Овчинников, О. А. Суслов // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 6. – С. 16–19.

64. Рациональная технология пропуска поездов во время «окна» для проведения ремонтно-строительных работ. : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Пармонова Н. В // МИИТ – М. – 2007. – 178 с.

65. Певзнер, В. О. Выправка пути на щебеночном балласте установкой подшпальных прокладок и пневматическим суфляжем / В. О. Певзнер, В. Н. Каплин, А. А. Абрашитов, А. В. Семак // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – № 2. – С. 104-109

66. Певзнер, В. О. Деформативность пути на участках обращения тяжеловесных поездов / В. О. Певзнер, А. И. Лисицын, Е. Н. Гринь [и др.] // Железнодорожный путь. – 2019. – № 9. – С. 36–41.

67. Певзнер, В.О. О некоторых проблемах современного путевого хозяйства / В.О. Певзнер // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3 – С. 36–40.

68. Певзнер, В.О. Обобщение зарубежного опыта по воздействию на путь грузовых вагонов с осевой нагрузкой 25 т/ось и более / В. О. Певзнер, О. Ю. Белоцветова // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2016. – № 9. – С. 184–189.

69. Певзнер, В. О. Определение потребности в путевых работах в современных условиях / В. О. Певзнер, А. И. Чечельницкий, А. И. Лисицын [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 1. – С.14–20.

70. Певзнер, В. О. Оценка влияния норматива устройства ширины колеи на интенсивность бокового износа и уширения колеи по результатам эксплуатационных наблюдений / В. О. Певзнер, О. Ю. Белоцветова, И. Б. Петропавловская, Т. И. Громова // Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 2. – С.35–38.

71. Певзнер, В. О. Оценка деформативности пути в местах расстройств и возможных изменений в сроках выправки при повышении осевой нагрузки

грузовых вагонов / В. О. Певзнер, С. С. Надежин, А. В. Анисин, И. В. Третьяков // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – № 4. – С. 44–48.

72. Певзнер, В. О. Система определения потребности в путевых работах требует корректировки / В. О. Певзнер // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 3. – С. 8–11.

73. Певзнер, В. О. Совершенствование системы технического обслуживания пути / В. О. Певзнер, В. М. Прохоров // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна. – 2003. – № 2. – С. 115–119.

74. Певзнер, В. О. Совершенствование системы управления техническим обслуживанием пути / В. О. Певзнер, Е. Н. Гринь // Железнодорожный путь. – 2021. – № 2. – С. 54–59.

75. Певзнер, В. О. Совершенствовать планирование путевых работ / В. О. Певзнер // Путь и путевое хозяйство. – 1993. – №. 9. – С. 10–12.

76. Певзнер, В. О. Экспериментальные исследования по оценке влияния ширины колеи на состояние ходовых частей на уровень боковых сил / В. О. Певзнер, Ю. С. Ромен, А. М. Орлова, А. В. Завертальюк // Вестник ВНИИЖ. – 2010. – № 2. – С.39–41

77. Певзнер, В. О. Проблемы контроля состояния пути на современном этапе / В. О. Певзнер, Ю. С. Ромен // Железнодорожный транспорт. – 1994. – №. 2. – С.34–37.

78. Певзнер, В.О. Организация технического обслуживания пути на особогрузонапряженных учатсках / В.О. Певзнер, А.И. Лисицын, Е.А. Сидорова [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 9. – С. 18–21.

79. Планирование подъмочного ремонта и планово-предупредительной выправки пути с учетом критерия неравноупругости: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.22 / А.К. Гавриленко // УрГУПС – Екатеринбург. – 2007. – 134 с.

80. Планирование технического обслуживание пути при ограниченных ресурсах с оценкой качества его функционирования на железных дорогах Сибири в новых экономических условиях. : дис. ... док. техн. наук: 05.22.06 / Г.К. Щепотин // МГУПС – М. – 2000. – 325 с.

81. Положение об организации комплексного обслуживания объектов

инфраструктуры хозяйства пути и сооружений. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» №2675/р от 29.11.2019. М. – 2019. – 171 с.

82. Положение об учете, расследовании и анализе отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАС АНТ. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» №2160-р от 01.10.2018. М. – 2018. – 39 с.

83. Поляничко, Н. В. Исследование влияния степени уплотнения балластного слоя в шпальных ящиках на сопротивляемость сдвигу шпал / Н. В. Поляничко // Известия ПГУПС. – 2004. – № 4. – С. 67–72.

84. Правила и технологии выполнения основных работ при текущем содержании пути. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» №ЦДИ-1511. М. – 2018. – 128 с.

85. Правила назначения ремонтов железнодорожного пути. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 2888/р от 17.12.2021. М. – 2021. – 273 с.

86. Приложение к свидетельству № 65459 об утверждении типа средств измерений «Комплексы измерительные микропроцессорные быстродействующие тензометрические «Динамика-3». ФГУП «СНИИМ» – Новосибирск, 2017 – 4 с.

87. Разработка и модернизация средств технического обслуживания железнодорожного пути. : дис. ... док. техн. наук: 05.22.06, 05.22.07 / В. П. Сычев // ВНИИЖТ – М. – 2007. – 308 с.

88. Расходные ставки, определяемые на основе зависящих от объемов работы расходов ОАО «РЖД» по перевозочным видам деятельности. Утверждены распоряжением №127/р от 26.01.2021. М. – 2021. – 422 с.

89. Рациональная загрузка железнодорожных линий. Баранов А.М., Козлов В.Е., Чернюгов А.Д. Труды ЦНИИ. – 1968. – Вып. 361. – 207 с.

90. Российский статистический ежегодник. 2020: Стат. сб. / Росстат. – Р76 М. – 2020 – 700 с.

91. Садырин Е. А. Повышение производительности выправочных машин / Е .А. Садырин, В. А. Покацкий, Д. А. Ковенькин, К. М. Титов // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 11. – С. 34–36.

92. Севостьянов, А. А. Анализ воздействия поездов на железнодорожный путь в условиях Среднесибирского хода / А. А. Севостьянов, А. С. Кочетков, Д. С. Стрелков // Вестник СГУПС. – 2020. – № 4. – С. 26–33.

93. Севостьянов, А. А. Анализ состояния геометрии рельсовой колеи в зависимости от плана линии / А. А. Севостьянов, А. Э. Малинина, А. А. Новиков // Интеллектуальный потенциал Сибири. 27-я Региональная научная конференция: сборник научных трудов. В 2-х частях. – 2019. – С. 153–157.

94. Севостьянов, А. А. Влияние изменений в оценке состояния геометрии рельсовой колеи на характер планирования работ по текущему содержанию / А. А. Севостьянов, Д. В. Величко // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 3. – С. 80–89.

95. Севостьянов, А. А. Влияние промежуточных скреплений на геометрию рельсовой колеи в условиях Транссибирской магистрали / А. А. Севостьянов, Д. В. Величко // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2019. – № 3. – С. 71–79.

96. Севостьянов, А. А. Выявление зависимости эксплуатационной работы промежуточных рельсовых скреплений от плана линии / А. А. Севостьянов, Д. В. Величко // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России. Труды Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 246–250.

97. Севостьянов, А. А. Оценка эксплуатационных показателей работы железнодорожного пути в зависимости от конструкции промежуточных рельсовых скреплений / А. А. Севостьянов, Д. В. Величко, В. В. Рошка // Вестник СГУПС. – 2019. – № 3. – С. 23–30.

98. Севостьянов, А. А. Повышение эффективности технологического процесса планово-предупредительной выправки железнодорожного пути / А. А. Севостьянов, Д. В. Величко // Вестник СГУПС. – 2021. – № 4. – С. 37–46.

99. Севостьянов, А. А. Состояние геометрии рельсовой колеи в сложных условиях эксплуатации / А. А. Севостьянов, Д. В. Величко // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. – 2020. – № 1. – С. 69–74.

100. Скутин, Д. А. Оценка поперечной устойчивости рельсошпальной

решетки в балластной призме / Д. А. Скутин, Г. Л. Аккерман // Вестник УрГУПС. – 2015. – № 3. – С. 36–44.

101. Сосков, А. Г. Эксплуатация крестовин в условиях тяжеловесного движения на Западно-Сибирской дороге / А. Г. Сосков // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 10. – С. 2–4.

102. Степанова, Л. Н. Тензометрическая система для обнаружения дефектов поверхности катания колес грузового вагона / Л. Н. Степанова, С. А. Бехер, А. С. Кочетков, А. О. Коломеец // Датчики и Системы. – 2013. – № 10. – С. 38–44.

103. Стоянович, Г. М. Температурные деформации в хоне уравнильных пролетов бесстыкового пути / Г. М. Стоянович, В. В. Пупатенко // Путь и путевое хозяйство – 2019. – № 6. – С. 34–37.

104. Стоянович, Г. М. Натурное изучение величины вибродинамического воздействия подвижной нагрузки на грунты: монография / Г. М. Стоянович // Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, – 2005. – 147 с.

105. Стоянович, Г. М. Укладка бесстыкового пути в сложных климатических условиях / Г. М. Стоянович, В. В. Пупатенко // Мир транспорта. – 2015. – № 5. – С. 64–78.

106. Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга). Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» № 769/р от 17.04.2018. М. – 128 с.

107. Суслов, О. А. Реорганизация системы технического обслуживания и ремонта пути / О. А. Суслов // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 1. – С. 11–13.

108. Суслов, О. А. Цифровые двойники – перспективная основа планирования технического обслуживания железнодорожного пути / О. А. Суслов, В. И. Федорова // Сборник материалов научно-практической конференции АО «ВНИИЖТ» Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт. – 2021. – С. 184–192.

109. 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.

110. Сычев, В. П. Автоматизированная технология текущего содержания пути / В. П. Сычев, В. В. Виноградов, Ю. А. Быков, Н. И. Коваленко // Вестник МГСУ. – 2016. – № 3. – С. 66–78.
111. Сычев, В. П. Автоматизированная технология текущего содержания пути / В. П. Сычев, В. В. Виноградов, Ю. А. Быков, Н. И. Коваленко // Вестник МГСУ. – 2016. – № 3. – С. 68–78.
112. Таранцев, А. А. Определение оптимальной продолжительности «окна» методом имитационного моделирования процессов железнодорожных перевозок / А. А. Таранцев, В. С. Тимченко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 6. – С. 30–35.
113. Тихомиров, В. И. К вопросу прогнозирования сроков назначения ремонтов пути / В. И. Тихомиров, Г. В. Петропавловская // Исследование вопросов совершенствования норм устройства и содержания рельсовой колеи. М.: Транспорт. – 1979. – С. 5–13.
114. Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь / Г. М. Шахунянц // М. – 1987. – 472 с.
115. Шахунянц, Г. М. Текущее содержание пути / Г. М. Шахунянц // М.: Трансжелдориздат. – 1945. – 48 с.
116. Щепотин, Г. К. Усиление подшпального основания бесстыкового пути. Екатеринбург: УрГУПС. 2008. 150 с.
117. Щепотин, Г. К. Эксплуатационная надежность железнодорожного пути. / Г. К. Щепотин // Екатеринбург: УрГУПС. – 2008. – 144 с.
118. Щепотин, Г. К. Усиление подшпального основания в условиях Сибири / Г. К. Щепотин // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 7. – С. 22–24.
119. Berggren, E. Beating stiff track / E. Berggren // International Railway Journal. – 2013. – Т. 53. – № 10. P. 39–41.
120. Chiachio J. A knowledge-based prognostics framework of railway track geometry degradation / J. Chiachio, M. Chiachio, D. Prescott, J. Andrews // Reliability Engineering and System Safety. – 2019. – Vol. 181. – P. 127 - 141.
121. Fendrich, L. Диагностика пути на железных дорогах ФРГ: контроль качества, методы определения объемов работ / L. Fendrich // Железные дороги

мира. – №7. – 1992. – С. 45-49.

122. Guler H. Modelling railway track geometry deterioration / H. Guler, S. Jovfnovic, G. Evren // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport. – 2011. – Vol. 164. – Issue 2. – P. 65–75

123. Guler, H. Prediction of railway track geometry deterioration using artificial neural networks: A case study for Turkish state / H. Guler // Structure and Infrastructure Engineering. – 2014. – Vol. 10, –№ 5. – P. 614–626.

124. Jens, C. Railway track geometry degradation due to differential settlement of ballast/subgrade – Numerical prediction by an iterative procedure / C. Jens, O. Nielsen, X. Li // Journal of Sound and Vibration. – 2018. – Vol. 412. – P. 441–456.

125. Kampczyk, A. Überwachung der Gleisgeometrie bei den polnischen Bahnen (PKP) / A. Kampczyk // Eisenbahningenieur. – 2011. – № 4. – S. 37–41.

126. Karpushchenko, N. Effectiveness of Intermediate Rail Fastenings on the Railway Sections of Siberia / N. Karpuschenko, D. Velichko, A. Sevostyanov // Transportation Research Procedia. – 2021. – Volume 54. – P. 173–181.

127. Kasraei, A. Effective time interval for railway track geometry inspection / A. Kasraei // Archives of Transport. – 2020. – Vol. 53. – P. 53– 65.

128. Kasraei, A. Optimal track geometry maintenance limits using machine learning: A case study / A. Kasraei, J. Zakeri, A. Bakhtiary // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. – 2020. – Vol. 235. – P. 876–886.

129. Khajehei, H. Allocation of effective maintenance limit for railway track geometry / H. Khajehei, A. Ahmadi, I. Soleimanmeigouni, A. Nissen // Structure and Infrastructure Engineering. – 2019. – Vol. 15. – No 12. – P. 1597–1612.

130. Liu, D. Dynamic Wheel Forces along Track Discontinuities / D. Liu, B. Lechner, St. Freudenstein // ZEVrail. – 2016. – № 4. – P. 132–137.

131. Martin, U. Früherkennung von Instabilitäten an Bahnkörpern in Schotterbauweise / U. Martin // Eisenbahningenieur. – 2015. – № 1. – S. 31-36.

132. Moridpour, S. Application of artificial neural networks in predicting the degradation of tram tracks using maintenance data / S. Moridpour, E. Mazloumi, R.

Hesami // *Applied Big Data Analytics in Operations Management*. – 2017. – P. 30-54.

133. Sadeghi, J. Application of neural networks in evaluation of railway track quality condition. / J. Sadeghi, H. Askarinejad // *Journal of mechanical science and technology*. – 2012. – Vol. 26. – № 1. – P. 113–122.

134. Sadeghi, J. Development of Railway Track Geometry Indexes Based on Statistical Distribution of Geometry Data / J. Sadeghi // *Journal of Transportation Engineering*. – 2010. – Vol. 136. – P. 693–700

135. Shenton, M.J. Ballast deformation and track deterioration track technology // *Proc. Conf. Noftinghen. London*. – 1985. – P. 253–279.

136. Soldati, G. Kontinuierliche Messung der Gleiseinsenkung mit 20 t Achslast / G. Soldati, M. Meier, M. Zurkirchen // *Der Eisenbahningenieur*. – 2016. – № 2. – S. 24–26.

137. Soleimanmeigouni, I. Track geometry degradation and maintenance modelling: A review / I. Soleimanmeigouni, A. Ahmadi, U. Kumar // *Proceedings of the institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. – 2016. – Vol. 232. – P. 73–102.

138. Soleimanmeigouni, I. Prediction of railway track geometry defects: a case study / I. Soleimanmeigouni, A. Ahmadi, X. Xiao, A. Nissen // *Structure and Infrastructure Engineering*. – 2020. – Vol. 16. – P. 987–1001

139. Soleimanmeigouni, I. Modelling the evolution of ballasted railway track geometry by a two-level piecewise model / I. Soleimanmeigouni, X. Xiao, A. Ahmadi, M. Xie, A. Nissen, U. Kumar. // *Structure and Infrastructure Engineering*. – 2018. – Vol. 14 – P. 34–45.

140. Weston, P. Perspectives on railway track geometry condition monitoring from in-service railway vehicles / P. Weston, C. Roberts, G. Yeo & E. Stewart // *Vehicle System Dynamics*. – 2015. – Vol. 53. – P. 1063–1091.

141. Yokoyama, A. JP East aims at condition-based maintenance / A. Yokoyama, M. Takikawa // *Railway Gazette International*. – 2014. – №1. – pp.37-39

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Справки о внедрении результатов диссертационного исследования



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»

**ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ
ИНФРАСТРУКТУРЫ
ЗАПАДНО-СИБИРСКАЯ ДИРЕКЦИЯ
ИНФРАСТРУКТУРЫ
СЛУЖБА ПУТИ**

«25» марта 2022 г. № Иск-723/ЗСиб П

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований, приведенных в диссертационной работе Севостьянова Александра Александровича «Организация производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам в сложных климатических и эксплуатационных условиях», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Результаты, полученные Севостьяновым А. А. при выполнении диссертационной работы имеют практическую ценность и могут быть использованы производственным отделом Службы пути Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры для организации и планирования планово-предупредительной выправки железнодорожного пути. В частности, имитационная модель организации выправки пути машинными комплексами позволит определить наиболее эффективный вариант организации работ с учетом таких факторов как тип и количество выправочных машин, длина перегона, эпюра шпал, потребность в балластном материале, фронт работ, интенсивность движения поездов и ограничение по продолжительности «окна».

Настоящей справкой подтверждается, что разработанная Севостьяновым А. А. имитационная модель и результаты моделирования организации выправки пути машинным комплексом приняты к внедрению для планирования летних ремонтно-путевых работ на полигоне Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры.

Начальник службы пути

Исп. Челябинова К.В., ПР
4-46-29



Д.А.Холодилов



РОСЖЕЛДОР
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ» (СГУПС)**
 Дуси Ковальчук ул., д. 191 г. Новосибирск, 630049 тел.: (383) 328-04-70, 328-05-75 факс: (383) 226-79-78 e-mail: public@sfu.ru http://www.sfu.ru
 ОГРН 1025401011680 ИНН / КПП 5402113155 / 540201001 ОКПО 01115969

31.03.22 № 443
 на № _____ от _____



УТВЕРЖДАЮ
 Проректор по учебной работе
 к.т.н., доцент Новоселов А. А.

» _____ 2022 г.

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы Севостьянова А. А.
 «Организация производственного процесса содержания рельсовой колеи по
 основным геометрическим параметрам в сложных климатических и
 эксплуатационных условиях» в учебный процесс

Настоящей справкой подтверждается использование результатов диссертационной работы Севостьянова А. А. «Организация производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам в сложных климатических и эксплуатационных условиях» в учебном процессе ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения» на кафедре «Путь и путевое хозяйство» факультета «Строительство железных дорог».

В частности, предложенная Севостьяновым А. А. методика планирования и организации производственного процесса содержания рельсовой колеи по основным геометрическим параметрам нашла применение в лекционном курсе дисциплины Б.1.В.13 «Организация, планирование и управление техническим обслуживанием железнодорожного пути» в разделе «Планирование текущего содержания пути». Предложенные математическая модель организации работ по текущему содержанию рельсовой колеи и имитационная модель организации выправки пути машинными комплексами нашли применение в лекционном и практическом курсах дисциплины Б.1.В.11 «Управление техническим обслуживанием скоростных и особогрузонапряженных линий» в разделах «Организация и технология выполнения неотложных работ по выправке рельсовой колеи и замене негодных дефектных элементов пути» и «Методика проектирования технологического процесса планово-предупредительного ремонта пути».

Дисциплины преподаются студентам специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей».

Зав. каф. «Путь и путевое хозяйство»,
 к.т.н., доцент

Д. В. Величко