

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»)

На правах рукописи

БАРОНАЙТЕ РЕНАТА АРВИДАСОВНА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПОТРЕБНОСТИ В ПРОВЕДЕНИИ
ПУТЕВЫХ РАБОТ НА КРАТКОСРОЧНЫЙ И СРЕДНЕСРОЧНЫЙ
ПЕРИОД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТИ**

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Певзнер Виктор Ошеревич

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. Анализ отечественного и зарубежного опыта по системе организации и планирования выправочных работ	13
1.1 Исторический обзор формирования критериев назначения выправочных работ на отечественных железных дорогах	13
1.2 Методы оценки состояния пути для определения потребности в путевых работах на среднесрочный период.....	23
1.3 Существующие методы оценки состояния пути для планирования путевых работ на зарубежных железных дорогах	39
Выводы по главе 1.....	50
Глава 2. Оценка влияния условий эксплуатации на появление и развитие расстройств пути	51
2.1 Постановка задачи	51
2.2 Оценка стабильности участка пути по длине	57
2.3 Оценка стабильности участка пути во времени (по тоннажу)	62
2.4 Оценка стабильности пути по показателям, одновременно распределенным по длине и во времени.....	71
2.4.1 Оценка стабильности пути на перегонах Горьковской дирекции инфраструктуры	74
2.4.2 Оценка стабильности пути на перегонах Южно-Уральской дирекции инфраструктуры	80
2.4.3 Оценка стабильности пути на перегонах Северной дирекции инфраструктуры	85
2.4.4 Выводы по оценке стабильности состояния пути	89
2.5 Анализ состояния пути и качества его содержания на примере опытных участков	91
Выводы по главе 2.....	97

Глава 3. Статистический анализ интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в различных условиях эксплуатации.....	99
3.1 Закономерности изменения интенсивности роста амплитуд неровностей в вертикальной плоскости (просадок) в условиях сети железных дорог	102
3.2 Сравнительный анализ интенсивности роста амплитуд неровностей в вертикальной и горизонтальной плоскостях на особогрузонапряженных линиях.....	105
3.3 Влияние параметров устройства пути в профиле на интенсивность роста неровностей на особогрузонапряженных линиях	108
3.4 Влияние параметров устройства пути в плане на интенсивность роста неровностей на особогрузонапряженных линиях	111
Выводы по главе 3.....	113
Глава 4. Совершенствование подходов в системе планирования выправочных работ	115
4.1 Применение основных положений теории выбросов случайных процессов при определении потребности в работах оперативного характера .	116
4.2 Совершенствование порядка определения необходимых сроков проверки геометрии рельсовой колеи.....	122
4.3 Определение потребности в выправочных работах на среднесрочный период на базе многовариантного прогноза	126
4.3.1 Основные положения методологии прогноза	126
4.3.2 Уточнение критерия назначения профилактической выправки пути в условиях особогрузонапряженных линий	143
Выводы по главе 4.....	150
Глава 5. Оптимизация и технико-экономическая оценка системы организации работ по техническому обслуживанию пути в условиях особогрузонапряженных линий.....	152
5.1 Многовариантная система выбора форм организации технического обслуживания пути	153

5.2 Вариант организации выправочных работ в створовые «окна» на участках интенсивного грузового движения и технико-экономическая оценка его применения.....	154
Выводы по главе 5.....	167
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	169
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	171
ПРИЛОЖЕНИЕ А Пример оценки стабильности участка пути по синтезу параметров, одновременно распределенных по длине и во времени (пропущенному тоннажу).....	186
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Характеристики участков для анализа интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей.....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ В Система управления состоянием пути на особогрузонапряженных линиях в зависимости от условий эксплуатации и форм организации работ.....	192
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Методика определения периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи №ЦДИ-1103/р.....	194
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Резолюция по итогам работы V Национальной научно-практической конференции с международным участием «Путь XXI века».....	205
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (п. 5.10 и Таблица 6.5).....	211

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Усложнение условий эксплуатации, вызванное увеличением количества обращающихся тяжеловесных поездов, эксплуатацией локомотивов повышенной мощности, ростом плотности поездопотока и последующая интенсификация процессов накопления расстройств пути, приводит к необходимости корректировки существующей системы технического обслуживания пути [1-5].

В настоящее время организация работ по техническому обслуживанию пути и планово-предупредительной выправке определяется Правилами назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» от 17.12.2021 №2888р (п.5.10) [6], которые предусматривают следующие блоки принятия решений: «Определение потребности в текущих работах осуществляется по фактическому состоянию пути. Определение потребности в работах на среднесрочный или долгосрочный периоды осуществляется по прогнозу состояния пути или по нормативным требованиям».

Согласно существующим подходам, работы по оперативному устранению возникающих расстройств проводятся на базе результатов обработки информации о фактическом состоянии пути после проходов вагонов-путеизмерителей, а планирование выправочных работ на среднесрочный период - на базе дифференцированных по критериям и классам пути срокам назначения работ. Планирование «окон» на ряде участков особогрузонапряженных линий осуществляется, в основном, в соответствие с графиком движения поездов и имеющимся ресурсам.

Следствием такой системы является проведение выправочных работ для устранения уже существующих расстройств, т.к. в условиях высокой грузонапряженности и плотности поездопотока на ряде участков практически отсутствует возможность в предоставлении дополнительных «окон» в графике движения для проведения работ профилактического характера.

В современных условиях инновационным решением проблемы является переход к планированию работ на основе прогноза, основанного на информации о тенденциях изменения состояния пути при наработке тоннажа (во времени) в зависимости от схемы организации технического обслуживания пути на конкретном участке при возможном изменении условий эксплуатации.

Необходимость проведения профилактических работ отмечал еще в 1945 году проф. Г.М. Шахунянц [7].

Следует отметить, что если при высокой грузонапряженности безусловно следует переходить на предупреждающее проведение ремонтов ввиду возможного непредсказуемого ухудшения состояния пути, то при низкой грузонапряженности опережающих ремонтов может не быть вообще.

Таким образом, в общем виде совершенствование системы технического обслуживания пути должно осуществляться по следующим направлениям:

- совершенствование системы организации и планирования выправочных работ на краткосрочный и среднесрочный период в условиях эксплуатации линий с высокой грузонапряженностью (специализации «О» и «ГІ»), включая оптимизацию форм организации работ для повышения эффективности использования машин;

- совершенствование порядка периодичности контроля основных параметров рельсовой колеи в условиях сети железных дорог ОАО «РЖД» по фактической интенсивности нарастания расстройств пути.

С точки зрения организации работ следует отметить, что для проведения работ на коротких фронтах целесообразно использовать менее производительные, но более дешевые машины.

Указанные предпосылки послужили основой при разработке новых подходов в системе технического обслуживания пути, что характеризует актуальность диссертационного исследования на тему: «Определение перспективной потребности в проведении путевых работ на краткосрочный и среднесрочный период в зависимости от условий эксплуатации пути».

Степень разработанности темы исследования. Вопросам оценки состояния пути и соответствующего порядка организации и планирования ремонтов пути посвящены работы Альбрехта В. Г., Атапина В.В., Ашпиза Е.С., Бельтюкова В.П., Блажко Л.С., Вериги М.Ф., Гринь Е.Н., Дворникова А.В., Ермакова В.М., Ершкова О.П., Ефимова А.Н., Зензинова Б.Н., Золотарского А.Ф., Каменского В. Б., Карпущенко Н.И., Коссова В.С., Краснова О.Г., Крейниса З.Л., Когана А.Я., Коваленко Н.И., Кондакова Н.П., Левинзона М. А., Лецкого Э.К., Лысюка В.В., Малинского С.В., Мишина В. В., Новаковича В.И., Овчинникова Д.В., Певзнера В.О., Полякова Н.М., Прохорова В.М., Ромена Ю.С., Рыбкина В.В., Сеньковского А.А., Сулова О.А., Сычева В.П., Тихомирова В.И., Третьякова В.В., Федулова В.Ф., Филиппова В.М., Цуканова П.П., Шахунянца Г.М., Шаца Э.Я., Шероновой Т.Н., Шульги В.Я., Щепотина Г.К. и др.

Среди зарубежных авторов следует отметить работы Х. Балуха (H. Baluch), Дж. Айзенманна (J. Eisenmann), К. Эсвелда (C. Esweld), А. Зарембски (A. Zarembski), П. Фрёлиха (P. Frölich), В. Цидделя (W. Ziddel).

Целью диссертационного исследования является разработка научно-обоснованной системы организации и планирования выправочных работ на участках с высокой грузонапряженностью (специализации «О» и «ГІ»), основанной на многовариантном прогнозе изменения показателей, характеризующих состояние пути, и уточнение порядка назначения периодичности контроля основных параметров геометрии рельсовой колеи в различных условиях эксплуатации на сети.

Задачами диссертационного исследования являются:

установление закономерностей накопления общих расстройств и изменения показателей стабильности участков пути на различных стадиях жизненного цикла в условиях особогрузонапряженных линий;

установление закономерностей интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в условиях сети с разработкой критериев определения потребности в работах оперативного характера на основании теории выбросов случайных процессов;

совершенствование системы организации и планирования выправочных работ для линий с высокой грузонапряженностью (специализации «О» и «ГІ») с определением порядка назначения необходимых сроков проверки геометрии рельсовой колеи в различных условиях эксплуатации на сети.

Объектом исследования являются участки железнодорожного пути, эксплуатируемые на различных стадиях жизненного цикла, в различных условиях эксплуатации.

Предметом исследования является система организации и планирования выправочных работ, основанная на многовариантном прогнозе изменения показателей, характеризующих состояние пути.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в:

1. установлении закономерностей накопления общих расстройств пути на различных стадиях жизненного цикла в условиях особогрузонапряженных линий и интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в различных условиях эксплуатации на сети;
2. разработке способа двухкомпонентной статистической оценки стабильности пути по параметрам геометрии рельсовой колеи, распределенным по длине и во времени (пропущенному тоннажу) (далее – способ);
3. совершенствовании подходов в системе определения потребности в работах оперативного характера на основании теории выбросов случайных процессов и планирования выправочных работ на среднесрочный период на базе разработанной методологии многовариантного прогноза состояния пути в зависимости от схемы организации технического обслуживания на конкретном участке для линий с высокой грузонапряженностью (специализации «О» и «ГІ»);
4. определении порядка назначения необходимой периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи для современных условий эксплуатации на сети.

Теоретическая значимость исследования заключается в:

- установлении закономерностей накопления общих расстройств пути на различных стадиях жизненного цикла в условиях особогрузонапряженных линий и

интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в различных условиях эксплуатации на сети;

установлении закономерностей изменения показателей состояния участка пути по параметрам, распределенным по длине и во времени (пропущенному тоннажу), на базе разработанного способа;

разработке критериев определения потребности в работах оперативного характера на основании положений теории выбросов случайных процессов с учетом темпа прироста амплитуд отдельных неровностей;

разработке основных положений методологии многовариантного прогноза состояния пути для определения потребности в выправочных работах на среднесрочный период в зависимости от схемы организации технического обслуживания пути на конкретном участке и стадии жизненного цикла.

Практическая значимость исследования заключается в:

1. разработке практических рекомендаций по системе организации и планирования выправочных работ, включая порядок устранения отдельных отступлений и методологии многовариантного прогноза изменения показателей, характеризующих состояние пути по геометрии рельсовой колеи, с учетом схемы организации технического обслуживания пути на конкретном участке для линий с высокой грузонапряженностью (специализации «О» и «ГІ»). Рекомендации включены в Резолюцию по итогам V Национальной научно-практической конференции с международным участием «Путь XXI века» (г. Санкт-Петербург, 14-15 сентября 2023 г.) для практического применения специалистами путевого хозяйства;

2. включении в нормативную документацию (Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 03.02.2023 г. №234/р)) положения о необходимости многовариантного прогноза состояния пути при определении потребности в работах по техническому обслуживанию пути и предложений по уточнению критериев назначения

профилактической выправки пути на особогрузонапряженных линиях (п. 5.10 и Таблица 6.5 вышеуказанных Правил);

3. совершенствовании порядка определения сроков диагностики геометрических параметров рельсовой колеи в условиях сети с учетом фактической интенсивности роста неровностей, включенного в Методику определения периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи, утвержденной Центральной дирекцией инфраструктуры 27 декабря 2021 г. № ЦДИ-1103/р;

4. разработке предложений по системе организации выправочных работ в створовые «окна» одновременно на нескольких фронтах.

Методология и методы исследования.

Экспериментальная составляющая исследований включает в себя результаты сетевого эксперимента по определению интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей на сети железных дорог по массиву данных, полученных по результатам проходов вагонов-путеизмерителей, за двухлетний период.

Эксплуатационные наблюдения, результаты которых приведены в настоящем диссертационном исследовании, включают:

результаты исследований по установлению закономерностей накопления расстройств геометрии рельсовой колеи на участках пути в различных стадиях жизненного цикла;

результаты исследований по установлению закономерностей изменения показателей стабильности участка пути по параметрам, распределенным по длине и во времени (пропущенному тоннажу).

Теоретические методы исследований, примененные в настоящей работе, включают:

способ двухкомпонентной статистической оценки стабильности пути по параметрам геометрии рельсовой колеи, распределенным по длине и во времени (пропущенному тоннажу), основанный на условной стационарности и эргодичности процессов накопления расстройств пути на отрезке пути;

метод определения потребности в работах оперативного характера, на основании анализа данных о состоянии участка пути для с применением основных положений теории выбросов случайных процессов и фоновой оценки состояния участков пути заданной длины;

методология многовариантного прогноза состояния пути с учетом возможных сценариев изменения схемы организации технического обслуживания.

Положения, выносимые на защиту:

– результаты проведенного исследования по оценке стабильности пути на различных стадиях жизненного цикла в условиях особогрузонапряженных линий с применением разработанного способа двухкомпонентной оценки стабильности участка пути по параметрам, распределенным по длине и во времени (по пропущенному тоннажу);

– результаты проведенного исследования по оценке влияния условий эксплуатации на интенсивность роста амплитуд отдельных неровностей в условиях сети с разработанными критериями определения потребности в работах оперативного характера на основании теории выбросов случайных процессов;

– предложения по совершенствованию системы организации и планирования выправочных работ для линий с высокой грузонапряженностью (специализации «О» и «Г») на базе разработанной методологии многовариантного прогноза состояния пути с уточнением порядка необходимой периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи для современных условий эксплуатации на сети;

– предложения по системе организации выправочных работ в створовые «окна» одновременно на нескольких фронтах.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов научного исследования определяется результатами статистической обработки массива данных о состоянии пути на участках с различными эксплуатационными характеристиками протяженностью более 5 тыс. км за двухлетний период наблюдений.

Полученные результаты согласуются с результатами исследований, полученных ранее другими специалистами.

Основные положения диссертационной работы были доложены и одобрены на: XVII, XVIII, XIX, XX Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», посвященной памяти профессора Шахунянца Г.М., Москва, РУТ МИИТ, в 2020 г., 2021 г., 2022 г. и 2023 г.; Международной научно-практической конференции «International Transport Scientific Innovation (ITSI2021)», Москва, РУТ МИИТ в 2021 г.; I Международной научной конференции молодых учёных и аспирантов «Железная дорога: путь в будущее», Москва, АО ВНИИЖТ в 2022 г.; V Национальной научно-практической конференции с международным участием «Путь XXI века», «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Санкт-Петербург в 2023 г.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований включены в нормативную документацию ОАО «РЖД» – Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 03.02.2023 г. №234/р) и использованы при разработке Методики определения периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи, утвержденной Центральной дирекцией инфраструктуры 27 декабря 2021 г. № ЦДИ-1103/р.

Глава 1. Анализ отечественного и зарубежного опыта по системе организации и планирования выправочных работ

1.1 Исторический обзор формирования критериев назначения выправочных работ на отечественных железных дорогах

Вопросы организации и планирования работ по техническому обслуживанию пути постоянно находились в центре внимания отечественных и зарубежных специалистов.

Термин «техническое обслуживание» применительно к железнодорожному пути, сформулировал д.т.н., проф. Певзнер В.О. в книге «Основы ведения путевого хозяйства» [8], как: «совокупность работ по текущему содержанию пути, планово-предупредительной выправке, всем промежуточным ремонтам, решение о необходимости применения которых принимается на основе мониторинга состояния пути».

В настоящее время одним из ключевых мероприятий в системе технического обслуживания пути является планово-предупредительная выправка.

Остановимся подробнее на системе организации и планирования выправочных работ с начала ее становления.

С началом эксплуатации с 1837 года Царскосельской железной дороги со скоростями движения паровозов до 60 км/ч возникла необходимость разработки системы ведения путевых работ, постоянное выполнение которых началось с 1850 года.

В 1883 году под руководством Д.И.Журавского, исполняющего обязанности Заведывающего технической и инспекторской частями железных дорог, разработаны «Правила содержания и охранения паровозных железных дорог, открытых для общего пользования» [9], в которых впервые на уровне официального документа были сформулированы задачи ведения путевого хозяйства.

В 1893 году инженер С.П. Бачманов предложил систему попутного ремонта пути [10]. В рамках попутного ремонта проводились: подъемка, выправка по уровню, подбивка шпал, перешивка, смена скреплений, рихтовка, разгонка зазоров, пополнение балласта и смена шпал.

При этом единой для сети железных дорог классификации путевых работ, норм и технических условий содержания пути не было [11]. Каждая железная дорога по своему усмотрению устанавливала номенклатуру, состав и объемы работ, сроки и организацию их выполнения, а ремонты пути классифицировались по сезонам года (весенний, летний, зимний) и по объемам работ (текущий и капитальный).

В 1936 году приказом министра путей сообщения Л.М. Кагановича «Об улучшении текущего содержания пути» (приказ НКПС № 79/Ц от 28.05.1936 г.) [12], впервые было принято классифицировать основные виды ремонтов пути на реконструкцию, капитальный и средний ремонт, а также текущее содержание пути.

Следует отметить, что в период до Великой Отечественной войны и после ее окончания основное внимание уделялось повышению мощности верхнего строения пути в соответствии с потребностями перевозочного процесса.

Усложнение условий эксплуатации, вызванное ростом осевых нагрузок локомотивов и вагонов, привело к необходимости дальнейшего совершенствования системы технического обслуживания пути.

С 1964 года и на протяжении следующих 30 лет порядок содержания, классификация и периодичность ремонтов определялись в соответствии с Положением о проведении планово-предупредительного ремонта верхнего строения пути, земляного полотна и искусственных сооружений железных дорог СССР (ППР-64) [13].

По данным [11], в этот период на отечественных железных дорогах существенно возросла средняя масса рельса (до 62,3 кг/м), эпюра шпал доведена до 1850 шт./км, доля пути на щебеночном балласте превысила 60 % общей протяженности главных путей. В связи с этим в систему путевых работ были

включены подъемочный ремонт пути, а также сплошная смена рельсов новыми (старогодными). Назначение подъемочного ремонта формулировалось следующим образом: «Подъемочный ремонт назначается на главных и станционных путях, требующих сплошной выправки пути, для обеспечения равноупругости основания путевой решетки и восстановления при необходимости дренирующих свойств балластной призмы». Подъемочный ремонт назначался главным образом на путях с песчаным балластом для создания слоя чистого балласта под шпалой.

В зависимости от типа верхнего строения пути, Положением ППР-64 [13] устанавливались следующие нормативные сроки проведения ремонтов – таблица 1.1.

Таблица 1.1 – Нормы периодичности ремонтов пути на линиях с типовым верхним строением, согласно ППР-64 (1964 г.)

Тип верхнего строения пути	Типы рельсов	Характеристика пути по конструкции рельсовых нитей	Род шпал	Род балласта	Периодичность ремонтов (в млн т бр.)			
					Подъемочный	Средний	Сплошная смена рельсов новыми	Капитальный
I особо тяжелый	P75	-	-	-	Производится по особым указаниям МПС			
II тяжелый	P65	Звеньевой и бесстыковой путь	Дер. и ж.б.	Щебень, сортированный гравий, асбестовый балласт	150; 400	280	500	500
III нормальный	P50	То же	То же	То же	110; 280	200	350	350
		Звеньевой путь	Дер.	Карьерный гравий и ракушка	80; 150; 290	210	-	350

Таким образом, ремонты назначались по мере наработки тоннажа до нормативных значений, указанных в документе.

Для создания более рациональной системы ведения путевого хозяйства, в 1994 году была внедрена «новая система ведения путевого хозяйства»,

утвержденная Приказом МПС РФ №12-Ц от 16 августа 1994 г [14], разработанная специалистами Департамента пути и сооружений, ВНИИЖТ, ПТКБ ЦП под руководством главного инженера ЦП д.т.н. В.Б. Каменского.

«Новая система ведения путевого хозяйства» была ориентирована на потребность соответствия типов, мощности и конструкции пути эксплуатационным условиям линии.

Предполагалось использование высокопроизводительной путевой техники и технологий, современной организации путевых работ, прогрессивных информационных технологий.

В Приказе [14] среднесетевые нормы периодичности обновления и капитального ремонта пути классифицировались в соответствие с классом и группой путей, в зависимости от типа и мощности конструкции пути. Определялись также критерии назначения путевых работ при текущем планировании с учетом фактического состояния пути.

Впервые в состав ремонтных схем была включена планово-предупредительная выправка пути, а общий состав ремонтно-путевых работ включал:

- усиленный капитальный ремонт пути,
- капитальный ремонт пути,
- усиленный средний ремонт пути,
- средний ремонт пути,
- сплошную замену рельсов и металлических частей стрелочных переводов на новые или старогодные,
- подъемочный ремонт пути,
- шлифовку рельсов,
- планово-предупредительную выправку пути с применением комплекса машин,
- работы по текущему содержанию пути и др.

Согласно Приказу 12Ц [14], подъемочный ремонт пути и планово-предупредительные работы по текущему содержанию назначались в первую очередь на километрах с повторяющейся неудовлетворительной, плохой или удовлетворительной оценкой состояния пути по вагону-путеизмерителю.

В 2003 году в дополнение к Приказу 12Ц, были приняты Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути (ЦПТ-53) [15].

Технические условия ЦПТ-53 включали:

- перечень и объемы путевых работ, осуществляемых в рамках соответствующего вида ремонта;
- основные критерии и порядок планирования ремонтов пути по показателям его фактического состояния;
- количество и характеристики укладываемых в путь материалов;
- условия и требования, предъявляемые к организации и технологии выполнения основных работ, входящих в каждый вид ремонта, в зависимости от конструкции верхнего строения пути, типа и количества применяемых машин, продолжительности «окон» и др.;
- технические условия и требования, предъявляемые к отремонтированному пути и его элементам.

Также были разработаны основные положения для планирования путевых работ: перспективного (на 3-5 лет) и текущего (на предстоящий год).

Кроме критериев назначения основных видов ремонтов, Технические условия [15] включали также критерии назначения планово-предупредительной выправки пути, основным из которых, как и в настоящее время, являлось количество отступлений II степени (в шт./км) за 3 последних месяца по показаниям вагона-путеизмерителя (таблица 1.2), в соответствии с действующей на тот момент классификацией путей (таблица 1.3).

Таблица 1.2 – Критерии выбора участков, подлежащих планово-предупредительной выправке пути, согласно ЦПТ-53, 2003 г.

Класс пути	Основные критерии		Дополнительные критерии			
	Количество отступлений II степени*, шт./км, более	Загрязненность щебня, % по массе	Негодные деревянные шпалы	Шпалы с выплесками	Негодные скрепления	
1 и 2	Группа Б и В	20	менее 30	6	2	10
	Группа Г и Д	25				
3	30	менее 30	10	4	15	
4	40	менее 30	15	5	20	
5	По усмотрению начальника дистанции					

*По показаниям вагона-путеизмерителя в среднем за 3 последних «весенних» месяца без учета отступлений по ширине колеи;

Таблица 1.3 – Классы путей, согласно ЦПТ-53, 2003 г.

Группа пути	Грузонапряженность	Категория пути – допускаемые скорости движения поездов (числитель – пассажирские, знаменатель – грузовые)						
		1	2	3	4	5	6	7
		$\frac{121-140}{>80}$	$\frac{101-120}{>70}$	$\frac{81-100}{>60}$	$\frac{61-80}{>50}$	$\frac{41-60}{>40}$	40 и менее	Станционные подъездные и прочие пути**
Б	Более 50	1	1	1	2	2	3	5
В	25-50	1	1	2	2	3	3	
Г	10-25	1	2	3	3	3	3	
Д	5-10	2	3	3	3	4	4	
Е	5 и менее	3	3	3	4	4	4	

* Значения грузонапряженности, стоящие перед тире - исключительно, после тире - включительно.

** Приемо-отправочные и другие станционные пути, предназначенные для сквозного пропуска поездов со скоростями 40 км/ч и более, подъездные пути со скоростями более 40 км/ч, а также горочные пути относятся к 3 классу. Станционные пути, не предназначенные для сквозного пропуска поездов при установленных скоростях 40 км/ч, а также специальные пути, предназначенные для обращения подвижного состава с опасными грузами, сортировочные и подъездные пути со скоростями движения 40 км/ч относятся к 4 классу. Остальные станционные и подъездные пути относятся к 5 классу.

Для усиления подрельсового основания пути с деревянными шпалами, в 2004 году было введено Временное положение о проведении усиленного подъемочного ремонта пути [16], в состав которого были включены такие виды работ, как замена негодных шпал и элементов скреплений, локальная очистка

щебня в местах выплесков, сплошная выправка пути с подъемкой до 10 см и добавлением балласта и др.

В 2012 году Технические условия ЦПТ-53 были отменены распоряжением ОАО «РЖД» 859р [17], регламентирующим новые Технические условия на работы ремонту пути (ТУ-859р), разработанные с целью реализации современных требований к планированию и организации ремонтно-путевых работ.

В частности, документом устанавливались следующие типы планирования путевых работ:

1. Перспективное планирование (на 5-6 лет) и более дальнюю перспективу осуществляется на основе нормативных межремонтных сроков с целью рационального образования и использования ремонтного фонда и других ресурсов.

2. Перспективное планирование на 2 - 3 года осуществляются на основе прогнозирования технического состояния участков пути и использования технико-экономических расчетов.

3. Текущее планирование на предстоящий год, исходя из фактического состояния пути.

Следует отметить, что в новых Технических условиях, в соответствие с растущими объемами перевозок, были расширены диапазоны классов путей по грузонапряженности и скоростям (в соответствии с классификацией железнодорожных линий, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 1 июля 2009 года №1393р [18]).

Таким образом, вместо диапазона грузонапряженности «более 50 млн ткм бр./км в год», появились два диапазона: группа Б – «51- 80 млн ткм бр./км в год» и группа А – «более 80 млн ткм бр./км в год», а для скоростей движения был добавлен скоростной диапазон «141-200 км/ч».

Критерии назначения планово-предупредительного ремонта приведены в таблице 1.4. Как следует из таблицы 1.4, для назначения планово-предупредительного ремонта на путях 1 и 2 класса, количество отступлений II степени должно превышать 25 шт./км за 3 «весенних» месяца.

Таблица 1.4 - Критерии выбора участков, подлежащих планово-предупредительной выправке пути, согласно ТУ-859/р, 2012 г.

Класс пути	Основные критерии		Дополнительные критерии			Параметры методологии УРРАН
	Количество отступлений II степени ¹⁾ , шт./км, более	Загрязненность щебня, % по массе	Негодные деревянные шпалы, % не более	Шпалы с выплесками, % не более	Негодные скрепления, % не более	Интенсивность отказов технических средств, «лямбда», отказ/млрд. т км бр.
1 и 2	25	до 30	10	3	10	Группа А,Б,В -2 Группа Г,Д -7
3	30	до 30	15	5	15	13
4	40	до 30	20	10	20	18
5	По усмотрению начальника дистанции пути					23

1) По показаниям вагона-путеизмерителя в среднем за 3 последних "весенних" месяца без учета отступлений по ширине колеи;

В 2013 году ТУ-859р [17] были заменены на Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути, утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 18 января 2013 г. №75р (ТУ-75р) [19].

Документ разрабатывался с учетом требований, предъявляемых к железнодорожному пути в существующих и перспективных условиях, в том числе для участков с обращением грузовых поездов (включая поезда с повышенной массой, длиной) с осевыми нагрузками до 25 кН/ось со скоростями до 140 км/ч и пассажирских поездов со скоростями движения до 200 км/ч.

В то же время, в документ были включены основные принципы организации ремонтно-путевых работ с применением высокоточных координатных и цифровых технологий.

В частности, в ТУ-75р кроме планово-предупредительного ремонта (В) были включены также усиленный планово-предупредительный ремонт по технологии КСПД ИЖТ (код - УВ) и планово-предупредительный ремонт по технологии КСПД ИЖТ (код - ВК).

КСПД ИЖТ расшифровывается как Комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта. Технология выправки

пути с применением КСПД ИЖТ состоит из нескольких блоков. Вначале создается высокоточная координатная система (ВКС), расположенная вдоль железнодорожного пути. Затем производится мобильное лазерное сканирование объектов инфраструктуры вдоль пути на ширину по 25 м с обеих сторон от пути, в результате которого каждая точка любого объекта получает привязку в абсолютной системе координат. На этой основе формируется цифровая модель пути (ЦМП), совокупность которых составляет базу пространственных данных [19].

Усиленный планово-предупредительный ремонт по технологии КСПД ИЖТ выполняется на участках железнодорожного пути, реконструкция (модернизация) или капитальный ремонт которого выполнялись по традиционной технологии (без применения координатного метода с привязкой к ВКС в составе КСПД ИЖТ).

Планово-предупредительный ремонт по технологии КСПД ИЖТ выполняется на участках железнодорожного пути, реконструкция (модернизация) или капитальный ремонт которого выполнялись по технологии КСПД ИЖТ или по традиционной технологии (без применения координатного метода с привязкой к ВКС в составе КСПД ИЖТ).

Основным критерием назначения планово-предупредительного ремонта, как и в ранее рассмотренных документах, считалось количество отступлений II степени за 3 последних весенних месяца – таблица 1.5.

Таблица 1.5 - Критерии выбора участков, подлежащих планово-предупредительному ремонту, согласно ТУ-75р (2013 г.)

Класс пути	Основные критерии		Дополнительные критерии		
	Количество отступлений II степени ¹⁾ , шт./км, более	Загрязненность щебня, % по массе	Негодные деревянные шпалы, % не более	Шпалы с выплесками, % не более	Негодные скрепления, % не более
1 и 2	25	до 30	10	3	10
3	30	до 30	15	5	15
4	40	до 30	20	10	20
5	По усмотрению начальника дистанции пути				

1) По показаниям вагона-путеизмерителя в среднем за 3 последних «весенних» месяца без учета отступлений по ширине колеи.

Усложнение условий эксплуатации, вызванное ростом грузонапряженности, увеличением количества обрабатываемых тяжеловесных поездов, сокращением межпоездных интервалов до 7-8 минут при существовании устойчивой тенденции к ежегодному сокращению численности монтеров пути на сети железных дорог ОАО «РЖД», привело к тому, что в настоящее время основная задача текущего содержания на ряде особогрузонапряженных участков формулируется как своевременное устранение крупных отступлений, угрожающих безопасности движения.

При этом необходимо отметить, что:

- практика профилактического выполнения работ практически отсутствует и работы на ряде участков назначаются для устранения уже возникших расстройств;
- машины для текущего содержания пути практически отсутствуют, а выпускаемая современная техника предназначена для работы на широких фронтах в ходе ремонта;
- при высокой плотности поездопотока выполнение работ под сигналами остановки практически невозможно, а работа путевых машин в короткие «окна» неэффективна.

Изменение условий работы пути потребовало корректировки системы организации и планирования работ по техническому обслуживанию пути.

В настоящее время порядок организации и планирования выправочных работ регламентируется такими нормативными документами, как Правила назначения ремонтов 2888р [6] и Положение об организации комплексного обслуживания объектов инфраструктуры хозяйства пути и сооружений 2675р [20].

Так, в Положении об организации комплексного обслуживания объектов инфраструктуры хозяйства пути и сооружений [20] указано, что планирование работ по текущему содержанию пути и работ по планово-предупредительной выправке на уровне дистанций пути должно осуществляться в соответствии с годовыми, месячными, недельными планами, а также по результатам фактической

потребности в работах неотложного и первоочередного характера (оперативное планирование).

Определение потребности в работах по планово-предупредительной выправке пути, как указывается в документе, должно осуществляться на базе установленных критериев выбора участков, подлежащих выправке пути, по результатам натурных осмотров состояния пути и данных, полученных с мобильных средств диагностики. В результате ремонты назначаются по фактической потребности с учетом имеющихся ресурсов. В документе не упоминается необходимость прогнозирования состояния пути при определении потребности в работах и формирования годовых планов работ.

В тоже время, в п.5.10 Правил назначения ремонтов пути 2888р [6] предусмотрена необходимость прогноза состояния пути для определения потребности в работах по техническому обслуживанию пути и планово-предупредительной выправке на среднесрочный период.

Таким образом в современной системе планирования выправочных работ необходим переход от оценки состояния пути в данный момент времени к оценке стабильности геометрии рельсовой колеи при наработке тоннажа в условиях конкретных участков с прогнозом на перспективные условия, что требует разработки соответствующих алгоритмов расчета.

1.2 Методы оценки состояния пути для определения потребности в путевых работах на среднесрочный период

Определение потребности в путевых работах тесно связано с оценкой срока службы основных элементов железнодорожного пути.

Каждому виду ремонта соответствуют различные критерии его назначения. Например, при назначении сплошной смены рельсов основополагающим критерием является интенсивность бокового износа рельсов, а при назначении капитального ремонта – одиночный выход рельсов в дефектные (остродефектные), процент негодных шпал и креплений, а также общий срок службы конструкции

пути (наработка тоннажа).

Вопросами прогнозирования потребности в ремонтах на базе информации о выходе из строя элементов конструкции верхнего строения пути занимались ученые и исследователи на протяжении многих последних десятилетий.

В работах Золотарского А.Ф., Попова С.Н., Цуканова П.П., Кондакова Н.П. [21-24] прогнозирование потребности в ремонтах осуществлялось по интегральным кривым выхода рельсов и загрязненности балласта, построенным для всего периода прогнозирования.

При участии В.Ф. Федулова в работе [25] получены линейные зависимости между средней глубиной просадки в стыках, плавным отклонением по уровню и среднеквадратическим разбросом неравномерных отклонений по уровню от прошедшего тоннажа.

В.С. Лысюком в работе [26] определены зависимости интенсивности накопления повреждений основных несущих элементов пути (рельсов, шпал, балласта, земляного полотна) от величины нагрузки.

Под руководством д.т.н. Ершкова О.П. в работах [27-28] получены зависимости средней осадки пути и изменения положения пути в плане от пропущенного тоннажа.

Как указывал д.т.н. Тихомиров В.И. в работе [29], при изменении существующих условий эксплуатации (например, введении в эксплуатацию новой конструкции пути), возникает необходимость в прогнозировании состояния системы «железнодорожный путь» (ее работоспособности) в будущем по результатам ее работы на некотором отрезке времени в прошлом с учетом изменившихся условий эксплуатации.

Д.т.н. Тихомировым В.И. [29, 30] был разработан математический аппарат, дающий возможность анализировать состояние системы железнодорожного пути в широком диапазоне грузонапряженности, скоростей движения, длин обслуживаемых участков, конструкции пути, механизации работ по смене рельсов на базе системы дифференциальных уравнений, описывающих вероятностные

состояния системы. Приведены расчеты прогнозирования интенсивности выхода рельсов для планирования ремонтов.

Д.т.н. Крейнисом З.Л. в работах [32,33] исследована потребность в построении имитационно-вычислительной эволюционной модели функционирования железнодорожного пути для выявления статистической связи между обобщенным показателем качества функционирования и устройством рельсовой колеи с оптимизацией нормативов. В работе [32] получены эмпирические зависимости, описывающие взаимосвязь исходных факторов и выходных координат модели для оценки влияния нормативов по рельсовой колее на расходы по текущему содержанию. Отмечено, что при увеличении скоростей движения с 60 до 90 км/ч расходы на текущее содержание увеличиваются в 1,4 раза, а с 60 до 120 км/ч – в 1,9 раза.

Классический подход к определению потребных сроков производства путевых работ по статистическим закономерностям накопления износа, одиночного изъятия дефектных рельсов из пути, срокам службы деревянных шпал и срокам между необходимыми очистками балластного слоя предложен проф. Г.М. Шахунянцем и представлен в его книге «Железнодорожный путь» [34].

Д.т.н. Вериго М.Ф. и д.т.н. Коганом А.Я. в работе [35] приведена модель взаимодействия пути и подвижного состава, основанная на методах теории случайных функций и теории вероятности. Как отмечал д.т.н. Коган А.Я., использование разработанной модели позволит определять вероятностные характеристики напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения пути при реальном потоке эксплуатационных нагрузок для решения задач, связанных с эксплуатацией путевой инфраструктуры.

В работе к.т.н. Шаца Э.Я. в 1981 году [36] был получен вывод о том, что в условиях ограниченности ресурсов и возможностей задача состоит не только в том, чтобы правильно найти участки пути, где требуется произвести ремонт, но и в том, чтобы определить по каждому такому участку степень его потребности в ремонте и на основе этого произвести оптимальное распределение имеющихся ресурсов. Автором была разработана методика оптимального планирования капитального

ремонта пути, в основу которой был положен критерий распределения объемов капитального ремонта пути по участкам дороги – показатель степени потребности в ремонте C , определяемый по выражению (1.1):

$$C = \left(\frac{T}{N}\right)^\alpha * \Gamma \quad (1.1)$$

и учитывающий грузонапряженность (Γ), степень просрочки капитального ремонта, конструкцию пути, условия эксплуатации, а также выполнение или невыполнение среднего ремонта пути.

В работе [37] авторами проведено практическое прогнозирование (планирование) ремонтов, опираясь на установленные нормы МПС и информацию о состоянии пути, получаемую в виде износа рельсов, выхода рельсов и шпал, загрязнённости балласта.

В работе [38] представлен подход к прогнозированию сроков ремонтов пути с точки зрения теории надежности с применением распределения Вейбулла.

В период 1977-1981 гг. д.т.н. В.Б. Каменским [39] были определены сферы применения существовавших в тот период машинных комплексов, их состав, технология и организация использования, периодичность и объемы работ, трудоемкость сопутствующих операций, порядок расчета состава укрупненных бригад. В результате в составную часть системы технического обслуживания пути были включены работы по планово-предупредительной выправке пути.

Планово-предупредительная выправка проводится для устранения расстройств геометрии рельсовой колеи, кроме отступлений по ширине колеи [6].

При определении потребности в выправочных работах необходимо учитывать, что путь является восстанавливаемой системой, к которой нельзя применять стандартные методы расчета накопления деформаций конструкции в функции срока службы (или прошедшего тоннажа), как, например, при определении величины бокового износа рельсов.

Кроме того, состояние пути в значительной мере зависит от качества работ по техническому обслуживанию пути.

Д.т.н. Карпущенко Н.И. в работе [40] для определения потребности в ремонтах пути разработан и предложен метод оценки надежности работы пути с использованием информации о накоплении отказов элементов верхнего строения пути и параметров геометрии рельсовой колеи. Д.т.н. Карпущенко Н.И. отмечает [40], что модели процессов изменения входных параметров системы (накопление отказов рельсов, шпал, креплений, параметров рельсовой колеи) целесообразно выбирать среди случайных процессов, которые имеют определенную функциональную зависимость от времени (тоннажа), но их случайный характер обуславливается случайными параметрами, не зависящими от времени. В работе [40] приведены полученные по результатам исследования автора модели процесса изменения параметров конструкции верхнего строения пути до предельного состояния для прогнозирования потребности в ремонтах и рационального распределения ресурсов.

В работе Филиппова В.М. [41] указано, что в течение срока службы конструкции железнодорожного пути частота отказов элементов верхнего строения изменяется и, как правило, увеличивается при наработке тоннажа. Для определения потребности в выправочных работах в работе отмечается, что из-за случайного разброса свойств пути и воздействий на путь в каждом сечении по длине пути, осадки пути накапливаются неравномерно.

Кроме того, в работе [41] также установлено, что распределение отклонений по уровню вдоль пути имеет случайный характер и не противоречит теоретическому нормальному закону распределения. Это означает, что вероятность (процент) сечений пути по длине, где положение рельсовых нитей по уровню превышает допуск, можно определить по формуле (1.2):

$$[\Delta] = \bar{\Delta} \pm xS_{\Delta} \quad (1.2)$$

где:

$\bar{\Delta}$ - среднее отступление от нормы положения рельсовых нитей по уровню;

x – квантиль нормального распределения;

S_{Δ} - среднеквадратическое отклонение отступлений.

Д.т.н. Рыбкиным В.В. в ДИИТе [42] была разработана методика и алгоритмы оценки надежности функционирования железнодорожного пути как системы отдельных взаимосвязанных восстанавливаемых элементов для прогнозирования изменения надежности ее элементов во времени.

В качестве объектов исследования автором рассматривалась интенсивность роста деформаций пути (по балльной оценке) и абсолютных значений деформаций во времени за период между капитальными ремонтами пути, а также вертикальные деформации пути (просадки).

На рисунке 1.1 уровень B_1 соответствует балльной оценке, требующей ограничения скорости, а уровень B_2 – остановки движения. Из рисунка видно, что при соблюдении сроков ремонтов и выполнении их в полном объеме лишь перед выполнением очередных ремонтных работ вероятно появление частичных отказов пути. Наиболее вероятны отказы пути в период перед капитальным ремонтом.

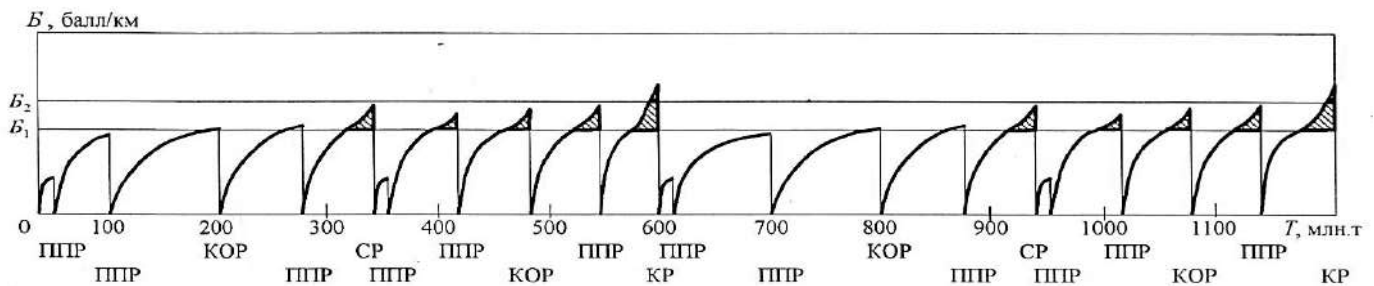


Рисунок 1.1 - Изменение интенсивности роста балльной оценки пути во времени при выполнении всех ремонтных и планово-предупредительных работ в нормативные сроки

Для моделирования деформаций пути, в качестве примера В.В. Рыбкиным рассматривались вертикальные осадки пути. В результате проведенного математического моделирования автором была выведена модель восстановления, описываемая уравнением (1.3):

$$R_{t_1}^{V_1} * l(x, t) = l(x, t - \tau_1(V_1)) \quad (1.3)$$

где:

t_1 – наработка, после которой выполняются путевые работы в объеме V_1 ;

$l(x, t)$ – величина просадки.

Геометрический смысл модели приведен на рисунке 1.2.

Таким образом, результаты исследования показали, что величина просадки и интенсивность ее роста зависит от объемов выправочных работ.

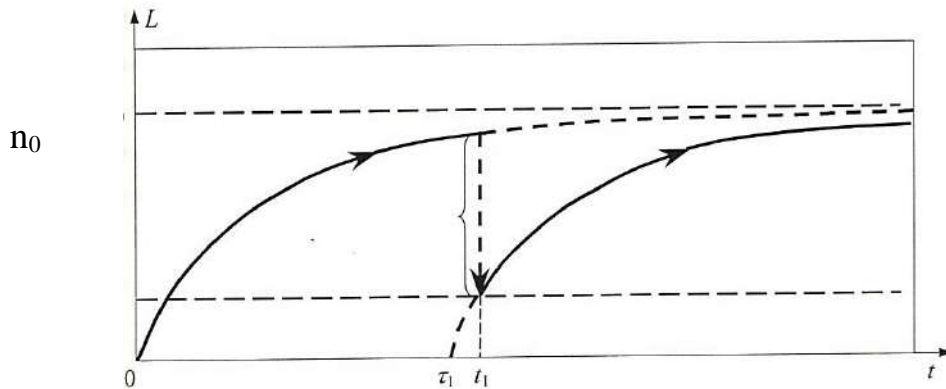


Рисунок 1.2 – Геометрическая интерпретация модели неполного восстановления, когда просадка устраняется не полностью

Д.т.н. Певзнер В.О. в работе [43] отмечал, что своевременные профилактические работы могут продлить период службы пути до очередного капитального ремонта. Для обобщенных оценок, связанных со сроками выправки, в работе предлагается формула (1.4):

$$P = N * \sigma_{\sigma}^x \quad (1.4)$$

где:

P – показатель, характеризующий интенсивность расстройств;

N – число циклов приложения нагрузки;

σ_{σ} – расчетные напряжения в балласте под шпалой;

x – показатель, определяемый экспериментальным путем.

Снижение напряжений достигается ограничением скорости движения или улучшением геометрического положения пути выправкой.

В работах [44, 45] д.т.н. Певзнера В.О., д.т.н. Ромена Ю.С., к.т.н. Малинского С.В. для оценки состояния пути предложен метод, основанный на определении вероятностной суммы двух составляющих – детерминированной, обусловленной наличием конкретных неровностей, и случайной, характеризуемой состоянием пути на участке.

Для прогнозирования изменения состояния пути в вышеуказанных работах предложен метод спектрального анализа случайных функций с помощью теории выбросов случайных процессов.

В работе к.т.н. Третьякова В.В. [46] на основе опытной эксплуатации стеновой насыпи на Экспериментальном кольце ст. Щербинка (АО ВНИИЖТ) показано влияние мерприятий по усилению основной площадки земляного полотна на период работы пути между планово-предупредительными выправками.

По результатам исследований АО «ВНИИЖТ» под руководством д.т.н. Певзнера В.О. при участии специалистов из ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» [47] была разработана методика оценки деформативности пути в местах расстройств и возможных изменений сроков выправки пути на основании итерационных расчетов на супер ЭВМ при моделировании эволюции осадок пути.

Для расчетов непрерывного накопления осадки (при отсутствии выправочных работ) в функции пропущенного тоннажа была получена следующая формула (1.5):

$$\delta(T) = \frac{P_o l^3}{6EI_z} \left(1 - \exp\left(\frac{-3kEI_z BT}{Al^3}\right) \right) \quad (1.5)$$

где:

$\delta(T)$ - осадка пути в функции пропущенного тоннажа T ;

B – коэффициент перехода от упругих деформаций к остаточным;

A – модуль упругости подбалластного основания;

P_o – осевая нагрузка.

По результатам расчетов в [47] было получено, что при увеличении модуля упругости подбалластного основания земляного полотна с 25 до 53 МПа и при пропуске расчетного тоннажа от 100 до 400 млн т бр., при нагрузке 30 тс, постоянном модуле упругости верхнего строения пути $U = 50$ МПа величина осадки уменьшается на 50%.

Исходя из того что по среднесетевым нормам ППР при осевой нагрузке 23,5 тс проводится после пропуска 175 млн т бр., то как следует из рисунка 1.3, при нагрузке на ось 30 тс такая же осадка возникнет после пропуска 140 млн т бр.

Из полученных данных следует, что при увеличении осевой нагрузки с 23,5 до 30 тс сроки проведения ППР сокращаются в зависимости от характеристик основания на 25 – 40 %. Это означает, что ремонтная схема вида:

$$К — П — С — П — К,$$

где:

К — модернизация (капитальный ремонт),

П — планово-предупредительный ремонт (планово-предупредительная выправка),

С — средний ремонт,

преобразуется в схему:

$$К — П — П — С — П — П — К,$$

т. е. потребуются проведение двух дополнительных ППР стоимостью 250 – 300 тыс. руб.

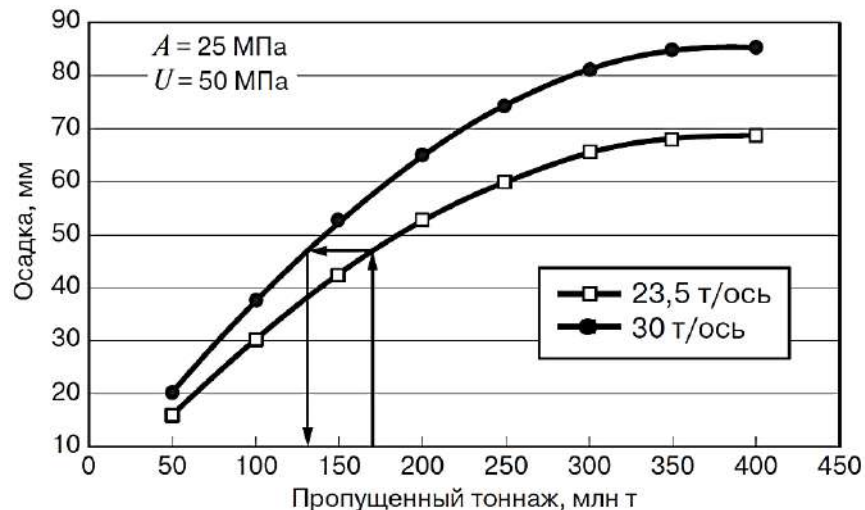


Рисунок 1.3 - График накопления осадок при A = 25 МПа и U = 50 МПа

В работе к.т.н. Сеньковского А.А. [48] отмечено, что интенсивность накопления деформаций пути J может быть определена как отношение величины приращения параметра $\Delta\psi$ к промежутку времени между проверками состояния пути t (к величине пропущенного за этот период тоннажа) – формула (1.6):

$$J = \frac{\Delta\psi}{t} \quad (1.6)$$

Процесс накопления отклонений рельсовых нитей от нормируемого положения в вертикальной плоскости может быть описан уравнением (1.7):

$$\Delta h = bt^n Q^k, \text{ мм} \quad (1.7)$$

где:

b – коэффициент, учитывающий величину амплитуды начальной неровности;

t^n – срок службы конструкции пути к моменту его состояния, лет;

k – показатель степени, зависящий от типа и конструкции верхнего строения пути, а также от уровня и качества его технического обслуживания;

n – показатель степени, определяемый по результатам опытных наблюдений на данном участке пути;

Q – пропущенный тоннаж, млн т бр.

К.т.н. Сеньковский А.А. в работе [48] отмечает, что при прогнозировании состояния железнодорожного пути следует использовать методы экспоненциального сглаживания (краткосрочное планирование), а также методы выравнивания и экстраполяции трендов (среднесрочное планирование).

В работах к.т.н. Прохорова В.М. и д.т.н. Певзнера В.О. [49, 50] отмечено, что к локальным расстройством пути относятся так называемые всплески нестабильности отдельных отрезков пути в одинаковых условиях эксплуатации при стабильности всего участка.

Возникновение локальных расстройств пути носит случайный характер, хотя конструкционно их появление предопределено следующими причинами:

— дефектами земляного полотна, балластной призмы и материалов верхнего строения пути;

— нарушениями в технологии выполнения работ на текущем содержании.

При этом отмечено, что расстройства геометрических параметров рельсовой колеи могут являться как причиной возникновения локальных неисправностей, так и их следствием.

В книге [49], отмечено, что снижение количества отступлений после ремонтов варьируется в различных диапазонах значений - таблица 1.6.

Таким образом, снижение количества отступлений в результате проведения ремонтных работ технически зависит не только от состава машин, входящих в ремонтный комплекс, но и в большей степени от технико-организационных и субъективных факторов.

Таблица 1.6 - Влияние проведения путевых работ на состояние геометрии рельсовой колеи

Вид ремонта	Среднее количество отступлений II степени	
	до ремонта, шт./км	после ремонта, шт./км
Усиленный капитальный и капитальный ремонт	21,4-48,3	1,34-10,45
Усиленный средний ремонт	11,5-33,5	7,78-14,26
Средний ремонт	5,2-31,4	6,06 - 24,7
Планово-предупредительная выправка	16,9-64,4	5,57-32,9

К.т.н. Мишин в работе [51] указывал, что прогнозировать детерминированными методами можно только интегральные показатели, которые характеризуют в целом состояние отрезка пути. Развитие отдельного дефекта пути (например, отступления по геометрии рельсовой колеи) спрогнозировать детерминированными методами принципиально невозможно, т.к. поведение такого дефекта носит вероятностный характер. Как отмечал к.т.н. Мишин В.В., для планирования работ на длине перегона, следует выделять однородные отрезки пути (для выправки это отрезок длиной 100-300 м) с регулярным расчетом показателей технического состояния, определяющих перспективную потребность в ремонтах.

Д.т.н. Бельтюковым В.П. в работах [52, 53] разработана модель работы пути, учитывающая жизненный цикл работы пути в виде трех этапов: приработки (стабилизации), нормальной эксплуатации и ухудшения состояния. Процесс

накопления расстройств пути описан с применением теории вероятностей и теории надежности. Так, для описания стандартной модели потока первичных отказов в работе предлагается использовать распределение Вейбулла, в общем виде описываемое следующим выражением (1.8):

$$f = \left(\frac{k}{\lambda}\right) \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} \quad (1.8)$$

где:

f – первичный поток отказов (неисправности, возникающие в пути впервые после окончания периода приработки);

x – наработка тоннажа или срок эксплуатации в годах;

k и λ – параметры, подлежащие определению.

В работах [52, 53] также отмечено, что прогноз изменения состояния пути следует основывать на технико-экономической модели работы верхнего строения пути с учетом особенностей верхнего строения как многоэлементной и восстанавливаемой конструкции.

Исследованию деградиционных процессов геометрии рельсовой колеи посвящен ряд работ к.т.н. Атапина В.В., при участии специалистов Самарского университета путей сообщения. В работе [54] приведены результаты исследований процессов роста неровностей в вертикальной плоскости на опытных участках. Авторы статьи отмечают, что в современных условиях эксплуатации наибольший интерес представляет текущее планирование на предстоящий год, осуществляемое на базе информации о фактическом состоянии пути.

В работе [55] авторы отмечают, что прогнозирование является одним из процессов управления для предсказания происходящих явлений, имеющих свойства накопления и деградации. В работе получены зависимости количества возникающих отступлений по геометрии рельсовой колеи на исследуемых участках с различными типами промежуточных скреплений.

В работе [56] д.т.н. Сычевым В.П. предложен метод повышения информативности оценки содержания рельсовой колеи по показаниям вагонов-путеизмерителей за счет использования методов и моделей теории выбросов

случайных процессов. В работе отмечено, что при определении объемов работ по выправке пути важна оценка не только появления единичных выбросов, но и длительность (единичного выброса или суммарная длительность всех выбросов) на интервале пути.

В работе [57] д.т.н. Щепотина Г.К. предлагается подход в системе технического обслуживания пути на основе оценки и прогноза надежности его элементов.

В работе [58] к.т.н. Гринь Е.Н. указывает, что «назначение работ по ремонту пути необходимо осуществлять на основании показателей надежности элементов пути, дополненных показателями риска, получаемых по результатам мониторинга состояния элементов конструкции пути. Система подготовки управленческих решений по разработке и назначению ремонтно-путевых работ должна основываться на анализе состояния пути, прогнозе изменения его во времени и выполнении промежуточных ремонтов пути, что требует формирования нескольких планов ремонтов пути, с учетом его фактического и прогнозного состояния».

В работе [59] приведены результаты исследований по оценке состояния пути после проведения работ по выправке пути с использованием статистических методов. По результатам исследований установлено, что назначение планово-предупредительной выправки необходимо осуществлять с учетом фактического состояния пути и мониторинга накопления отступлений, а критерии назначения выправочных работ следует дифференцировать в зависимости от условий эксплуатации.

Специалистами Уральского университета путей сообщения (УрГУПС) [60] разработан алгоритм, позволяющий выявлять неблагоприятные участки пути по параметрам, связанным с динамическими показателями вагона – количеством и длительностью касаний гребнем колеса головки рельсов

Широкий спектр исследований в области взаимодействия пути и подвижного состава проведен специалистами из ВНИКТИ, г. Коломна [61-63].

Особое внимание хотелось бы уделить существующим методам прогнозирования состояния пути.

Методика прогнозирования потребности в ремонтах пути по полиномам Лагранжа была впервые разработана д.т.н. В.И. Тихомировым и подробно описана в работе [29].

Полином Лагранжа первой степени ($n=1$) имеет (1.9):

$$F_n(t) = \frac{t - t_1}{t_0 - t_1} X(t_0) + \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} X(t_1) \quad (1.9)$$

Второй степени ($n=2$) (1.10):

$$F_n(t) = \frac{(t - t_1)(t - t_2)}{(t_0 - t_1)(t_0 - t_2)} X(t_0) + \frac{(t - t_0)(t - t_2)}{(t_1 - t_0)(t_1 - t_2)} X(t_1) + \frac{(t - t_0)(t - t_1)}{(t_2 - t_0)(t_2 - t_1)} X(t_2) \quad (1.10)$$

В общем виде (1.11):

$$F_n(t) = (-1)^{n-i} C_n^i \frac{m(m+1) \dots (m+n)}{n!} \sum_{i=0}^n (-1)^{n-i} \frac{C_n^i}{m+n-i} X(t_i), \quad (1.11)$$

где:

$$(-1)^{n-i} C_n^i \frac{m(m+1) \dots (m+n)}{n!} \sum_{i=0}^n (-1)^{n-i} \frac{C_n^i}{m+n-i} X(t_i) - \text{коэффициент Лагранжа,}$$

который табулирован;

m – количество шагов прогнозирования;

При расчете на 5 шагов (5 принятых интервалов) полином второй степени ($n = 2$) имеет вид (1.12):

$$F_n(t) = 15X(t_0) - 35X(t_1) + 21X(t_2), \quad (1.12)$$

А в 1 степени:

$$F_n(t) = -5X(t_1) + 6X(t_2) \quad (1.13)$$

С целью повышения точности прогнозирования используют среднеарифметическое выражение экстраполяционных полиномов (1.14):

$$Q_1(t) = \frac{\sum_{i=1}^2 F_i(t)}{2} \quad (1.14)$$

или среднеквадратическое выражение этих же полиномов (1.15):

$$Q_2(t) = \left[\frac{\sum_{i=1}^2 F_i^2(t)}{2} \right]^{1/2} \quad (1.15)$$

Практическое применение методики д.т.н. Тихомирова В.Н. для определения потребности в ремонтах пути по полиномам Лагранжа отражено в работах к.т.н. Полякова Н.М. [64], к.т.н. Шероновой Т.М. [65], к.т.н. Дворникова А.В. [66].

Анализ данных работ показал, что метод прогнозирования по полиномам Лагранжа хорошо зарекомендовал себя для прогноза процессов, изменяющихся по линейным зависимостям при неизменных условиях эксплуатации.

Однако при прогнозировании изменения состояния геометрии рельсовой колеи необходимо учитывать, что процесс появления отступлений по геометрии рельсовой колеи может являться и нелинейным, что в современных условиях увеличения силовой загруженности пути требует разработки новых подходов при прогнозировании изменения состояния геометрии рельсовой колеи на среднесрочный период.

В настоящее время в системе управления состоянием железнодорожного пути широко внедряются цифровые методы, основанные на моделировании процессов изменения состояния элементов конструкции рельсовой колеи и ее геометрии во времени и прогнозировании, на базе полученных моделей, изменения состояния пути в будущем для планирования ремонтов.

Д.т.н. Коваленко Н.И. совместно со специалистами из МИИТа в работе [67] для принятия решения о назначении ремонта пути приводят модель системы, в которой сочетаются 12 событий, определяющих техническое состояние путевых элементов. В рамках моделирования решались задачи: 1. Прямая задача - определение вероятности возникновения отдельных простых исследуемых событий (А, Б, С, Д) на выбранном участке пути при заданной наработке тоннажа (дефект рельса, отказ креплений, появление выплесков, число отклонений ГРК II степени) и как следствие – нахождение количества этих отдельных событий. 2. Обратная задача, определение наработки тоннажа по заданной величине отказов одного из событий.

В работе специалистов к.т.н. Асалхановой Т.Н. и Осколкова А.А., г. Иркутск [68] отмечается, что процессы планирования и организации путевых работ следует автоматизировать для снижения влияния человеческого фактора в принятии управленческих решений. В работе приведена предлагаемая модель цифровой трансформации в ОАО «РЖД», позволяющая автоматизировать процессы планирования путевых работ с учетом факторов, влияющих на изменение состояния элементов пути.

В работе специалистов Сибирского государственного университета путей сообщения [69] при организации и планировании работ по текущему содержанию пути предлагается метод, основанный на моделировании технологических процессов содержания геометрии рельсовой колеи. Разработанная математическая модель позволяет определить необходимое количество трудозатрат и спланировать работу по содержанию геометрии рельсовой колеи с учетом сроков по устранению отдельных отступлений.

В работе [70] приведены результаты разработки трехмерной конечно-элементной модели участка железнодорожного пути на базе которой проводилось моделирование воздействия подвижного состава. Авторы отмечают, что применение данной модели в перспективе позволит проводить наблюдение за состоянием пути и его деградацией (износом, выходом в дефектные элементы пути).

В работе д.т.н. Сулова О.А. и к.т.н. Федоровой В.И. [71] выделены основные требования «цифрового двойника» путевой инфраструктуры, а также определен состав расчетных и прогнозных моделей, необходимых в рамках реализации его создания.

В работе [72] приведены результаты разработанного алгоритма генерации данных геометрии пути с использованием нейронной сети для автоматизации процесса выправки железнодорожного пути в кривых.

В ОАО «РЖД» Существуют и другие системы автоматизированного прогнозирования показателей, характеризующих состояние пути [73-77]. При участии АО «ВНИИЖТ» разработана Методика оценки стабильности геометрии

рельсовой колеи по осадкам земляного полотна с использованием программы Stabway, разработанной Инфотранс [79].

В последнее время в ОАО «РЖД» активно внедряется Методика расчета, оценки и прогноза предотказного состояния рельсовой колеи, утвержденная в 2023 году [78], основанная на применении нейронных сетей и машинного обучения. Разработан также программный комплекс «Нейроэксперт» [80], позволяющий прогнозировать состояние пути на длительный период времени с оценкой стоимости жизненного цикла объектов инфраструктуры.

Однако алгоритмы прогнозирования таких систем в недостаточной степени увязаны с порядком организации технического обслуживания пути на конкретных участках, что говорит об актуальности вопросов, исследуемых автором.

1.3 Существующие методы оценки состояния пути для планирования путевых работ на зарубежных железных дорогах

Ряд исследований по оценке состояния пути для планирования выправочных работ проведен в Нидерландах (Технологический университет Делфта) К. Эсвельдом [81, 82]. Так, в работе [81], указано, что для определения факторов, влияющих на состояние пути, необходимо накапливать данные о состоянии геометрии рельсовой колеи (включая сроки проведения работ, геометрию пути в плане и профиле, состояние поверхности катания рельсов, данные об инфраструктуре) на участках длиной 200 м, а геометрию рельсовой колеи оценивают по данным среднеквадратических отклонений σ или показателям качества.

Интенсивность роста расстройств в исследовании К. Эсвельда определяется как отношение изменения среднеквадратического отклонения между выправками пути к пропущенному тоннажу. Процесс изменения состояния геометрии рельсовой колеи между выправками в работе [82] представлен в следующем виде – рисунок 1.4.

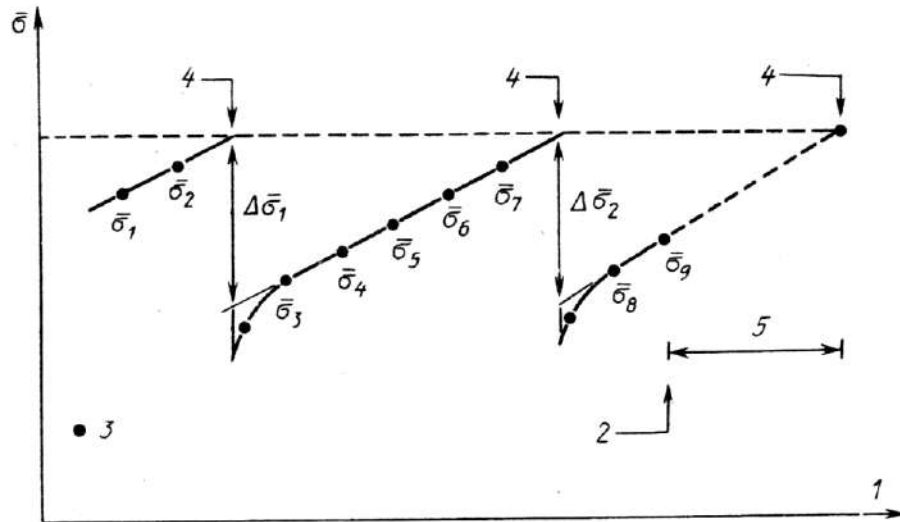


Рисунок 1.4 – График изменения состояния геометрии рельсовой колеи между выправками:

где: 1 – пропущенный тоннаж; 2 – последнее измерение; 3 – измеренные величины; 4 – выправка; 5 – оценка срока следующей выправки

Согласно рисунку 1.4, среднее качество геометрии рельсовой колеи $\bar{\sigma}_A$, средний скачок в улучшении состояния пути после выправки $\Delta\bar{\sigma}_B$, и средняя интенсивность накопления расстройств $\bar{\Delta\sigma}/\Delta t$ определяются из выражений (1.16- 1.18):

$$\bar{\sigma}_A = \frac{1}{N} [\sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_N] \quad (1.16)$$

$$\Delta\bar{\sigma}_B = \frac{1}{N} [\Delta\bar{\sigma}_1 + \Delta\bar{\sigma}_2 + \dots + \Delta\bar{\sigma}_N] \quad (1.17)$$

$$\frac{\bar{\Delta\sigma}}{\Delta t} = \frac{1}{N} \left[\frac{\bar{\sigma}_2 - \bar{\sigma}_1}{T_2 - T_1} + \frac{\bar{\sigma}_3 - \bar{\sigma}_2}{T_3 - T_2} + \dots \right] \quad (1.18)$$

В статье [82] указано, что на практике применяют два способа планирования ремонтов пути. Согласно первому, текущий ремонт проводят в соответствие с плановыми сроками. Достоинство этого метода заключается в том, что он не требует предварительной проверки и анализа состояния пути для принятия решения. Однако этот метод не всегда является экономически эффективным. Второй метод основан на результатах исследования состояния пути с помощью путеизмерительных вагонов, а ремонт назначается по фактическому состоянию пути. Этот метод требует применения автоматизированных комплексов для

обработки больших массивов данных и в настоящее время находит более широкое применение.

На железных дорогах Германии (DB) [83] среднесрочное планирование работ по ремонту и содержанию пути производится на основе долгосрочных прогнозов с составлением трехлетних планов, в которых ежегодно корректируются объемы работ текущих лет. Кроме среднесрочных планов, составляются также оперативные планы на отдельный год, задача которых состоит в том, чтобы определить предельное эксплуатационное время, необходимое для путевых работ на тех или иных участках пути. Наряду с этими планами на DB составляют также среднесрочные планы обеспечения рабочей силой. Работы по ремонту и содержанию пути на DB выполняются силами железных дорог и подрядных фирм.

На Федеральных железных дорогах Австрии (ÖBB) [84] с 2003 года для планирования путевых работ введена система NATAS, которая интегрирует данные измерений, выполняемых с помощью георадара, в общий отчет о состоянии пути. Все данные, полученные с помощью путеизмерительных вагонов, объединяются с прочей информацией и после этого формируются в графическом виде, позволяющем прогнозировать ухудшение рабочих параметров инфраструктуры. В общем случае система выдает данные по участкам пути длиной 5 км, но возможен вариант общей оценки для участка пути длиной до 50 км. В 2011 году компания ввела в действие интеллектуальную систему мониторинга инфраструктуры ESIF, которая обеспечивает региональным службам доступ к прогнозам технического состояния обслуживаемых объектов инфраструктуры. Система ESIF на основе данных о состоянии пути прогнозирует ухудшение рабочих параметров, предлагает перечень рекомендуемых мероприятий и расчеты экономических показателей для работ по текущему содержанию или обновлению пути.

Норвежская компания Vane NOR [85] запустила в работу цифровую систему мониторинга пути в виде компьютерного приложения, анализирующего состояние колеи. Информация поступает от датчиков, установленных на пути и путевых

системах. Они сигнализируют операторам о необходимости технического обслуживания колеи для устранения неисправностей, угрожающих безопасности движения. На основании полученных данных разрабатываются программы ремонтов и текущего содержания пути в соответствие с фактической необходимостью, а не установленным заранее графиком ремонтных работ.

На железной дороге Canadian National [86] с 1980 г используется автоматизированная система управления текущим содержанием пути TMS, осуществляющая 3 уровня обработки информации о состоянии пути и его элементов:

1. Физико-механические характеристики пути и сооружений;
2. Техническое состояние компонентов пути;
3. Математическая модель прогнозирования процесса роста расстройств пути.

Наибольший интерес представляет модель прогнозирования расстройств геометрических параметров рельсовой колеи. По данным [86], прогнозирование расстройств осуществляется построением регрессионной зависимости расстройств от прошедшего тоннажа по данным вагона-путеизмерителя. Математическая модель прогнозирования процесса роста расстройств пути используется для прогнозирования изменения состояния пути на срок до 5 лет. Модель может работать в трех режимах:

1. основной, когда степень расстройства определяется один раз в год на ближайшие 5 лет;
2. диалоговый режим с варьированием условий эксплуатации;
3. исследовательский режим.

На Британских железных дорогах [87] используется система MARPAS (планирование путевых работ), учитывающая объем перевозок и доходы, показатели взаимодействия пути и подвижного состава, тип и срок службы элементов верхнего строения пути. Система позволяет оптимизировать разработку планов по подбивке и выправке на основе одного из следующих методов:

сплошная подбивка и выправка пути – наиболее простая форма планирования, при которой все пути подбиваются через определенные временные интервалы.

выборочная выправка – метод, при котором пользователь устанавливает уровень качества, которому должны соответствовать все пути после запланированных ремонтно-путевых работ;

выправка для обеспечения требуемого уровня качества – используется для участков с заведомо низким качественным состоянием пути;

подбивка пути при ограниченных возможностях применения подбивочно-выправочных машин.

Модель процесса расстройтва пути, используемая в системе, основана на измерениях осадок пути под действием поездной нагрузки.

На Венгерских железных дорогах (MÁV) для планирования ремонтно-путевых работ более 10 лет эксплуатируется система ВИНПАТЕР (WINPÁTER) [88].

Компьютерная система имеет следующие функции:

1) Анализ соответствия значения допускаемой скорости - программное обеспечение на основании измерительных данных предлагает значение максимальной скорости, которое с учетом допусков ещё можно допустить на данном участке пути;

2) Планирование путевых работ - система с учетом измерительных данных и допусков дает предложение, какие виды работ выполнять и в каком периоде времени;

3) Статистический анализ - имея в распоряжении измерительные данные при помощи системы можно проводить разные анализы, вычислять разные статистики и обработки;

4) Применяемость - систему ВИНПАТЕР (WINPÁTER) очень просто можно адаптировать к условиям и потребностям конкретной железной дороги.

Система позволяет проводить оценку фактического состояния пути с возможностью прогнозирования развития неисправностей. Регистрация данных

локальных конструкционных неисправностей в пути осуществляется с применением ручного миникомпьютера. Собранные миникомпьютером данные переносятся в базу данных WINPATER-а. На основании данных осмотра конструкционных элементов, система подсчитывает балльную оценку, характеризующую состояние пути.

С учетом полученных фактических данных и имеющихся допусков, система производит оценку необходимости проведения ремонтно-путевых работ на участке, с определением вида и времени производства работ.

Система выделяет два предельных случая: «неотложное выполнение данного рода работ» и «запрет выполнения данного рода работ». Между этими ситуациями система, в функции времени, выдвигает предложения на выполнение разного рода путевых работ, таких как:

- выправочно-подбивочные работы,
- очистка балласта,
- смена рельсов по износу,
- шлифовка рельсов
- ремонт шпал, смена шпал,
- подтягивание, дополнение, замена креплений.

Затем, на основании введенных в систему единичных расценок и в зависимости от выбранной технологии выполнения работ, система выполняет калькуляцию финансовых затрат на установленный объем работ, что помогает руководящему персоналу в распределении имеющихся финансовых средств.

Подобная система позволяет выполнять планирование ремонтно-путевых работ в зависимости от фактического состояния пути, что в свою очередь позволяет оптимизировать затраты на содержание пути.

Проведенный анализ показал, что на зарубежных железных дорогах планирование путевых работ, в основном, осуществляется с помощью автоматизированных систем, использующих информацию о состоянии геометрии рельсовой колеи и элементов конструкции пути в режиме реального времени с прогнозом на перспективные условия.

Учеными из Франции [89] были проведены исследования по оценке влияния спектрального состава неровностей на динамику подвижного состава, что позволило классифицировать значения коэффициентов A и C в модели спектра $S(f)$ для пути хорошего, среднего и плохого состояний (1.19):

$$S(f) = A(C + f)^{-3} \quad (1.19)$$

Применение спектральных методов оценки состояния пути позволяет выявить, неровности какой длины преобладают на участке и спланировать работы по их устранению (шлифовку, выправку стыков или сплошную выправку пути).

На железных дорогах США [90] существует следующая система оценки неровностей пути, сопоставляемая с общей оценкой состояния пути:

- 1 группа – отдельные неровности, не выделяющиеся на фоне шума;
- 2 группа – отдельные неровности, на 50% превышающие уровень шума;
- 3 группа – неровности, которые должны учитываться как подлежащие устранению в первую очередь при планировании работ;
- 4 группа – неровности, которые должны быть устранены немедленно или необходимо введение ограничения скорости.

Таким образом, преимуществом спектральной оценки состояния пути, по сравнению с балловой оценкой, является возможность выявления причин появления неровностей для планирования оптимального состава ремонтно-путевых работ.

На железных дорогах Индии [91] была разработана концепция инерционной системы регистрации параметров пути. В этой системе сигналы датчиков ускорений, установленных на полу вагона, подвергаются постоянному двойному интегрированию с использованием однополюсного фильтра Баттерворта. Информация представляется для каждого километра пути. В массив данных, помимо скорости и местоположения вагона, включают информацию для оценки неровностей (СКО неровностей и число максимальных превышений каждого из определенных уровней) и комфортных качеств пути (в виде индексов плавности для кабины локомотива и салона пассажирского вагона). По данным о СКО отдельных неровностей, записям предыдущих проходов путеизмерителей

(особенно двух последних), выявляются участки, на которых улучшилось или ухудшилось состояние пути более чем на 25% относительно существовавшего уровня для планирования путевых работ.

Планирование путевых работ с использованием обобщенных показателей качества, определяемых по статистическим характеристиками состояния пути (СКО), практикуется на железных дорогах ФРГ, Венгрии, Индии, Польши, Южной Африки и ряда других стран [92, 93].

В работе Р.Б. Льюиса [94], указывается, что система оценки состояния пути с помощью стандартных отклонений, применяемая на Британских железных дорогах, не всегда с достаточной точностью позволяет оценить качество содержания участка пути. При хорошей средней оценке участка, отдельный дефект, встречающийся в пределах его полезной длины, может быть не учтен, если он не оказывает существенного влияния на среднюю оценку. Таким образом, по мнению автора, качество содержания пути необходимо оценивать по количеству значительных отклонений от установленного предела.

В статье [81] отмечается, что на железных дорогах Франции (SNCF) оценка состояния пути по показателям качества производится для участков пути длиной 1 км. При планировании путевых работ показатели качества на малых отрезках суммируют и получают обобщенные индексы для участков длиной 5-10 км. Исследования, проведенные на железных дорогах БЭИ МСЖД, показали, что среднеквадратические отклонения неровностей на ряде европейских железных дорог составляют в профиле 0,73-1,52 мм, а в плане – 1-1,95 мм, при этом интенсивность роста расстройств в период между выправками пути происходит по линейному закону. Средняя интенсивность накопления расстройств на ряде европейских дорог составила в профиле 1-2 мм на 100 млн т бр, в плане – 0,3- 0,6 мм на 100 млн т бр.

В работе британских исследователей М. Одли и Дж. Эндрюс [95] приведены результаты анализа влияния выправочных работ на интенсивность деградации геометрии рельсовой колеи, качество состояния которой определялось

стандартным отклонением среднего вертикального положения рельсов на длине волны 35 м после работ.

Результаты исследования показали, что со временем процесс выправки ухудшает состояние балласта, и, следовательно, можно ожидать, что геометрия пути будет ухудшаться быстрее – рисунок 1.5. Причина этого заключается в том, что разрушение балласта приводит к тому, что мелкие частицы блокируют пустоты, это изменяет эластичность полотна пути, приводит к плохому дренажу и, в крайних случаях, к непригодному для использования балласту.

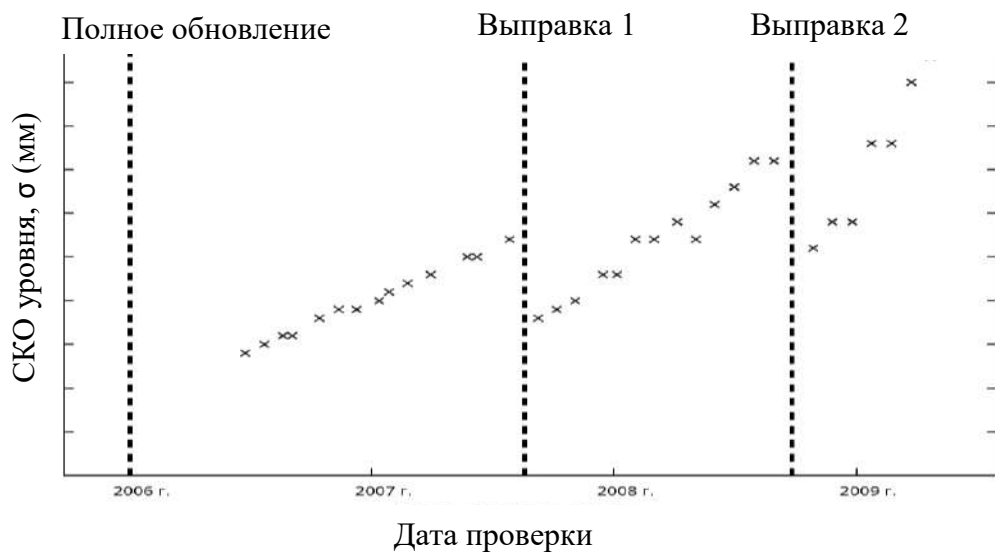


Рисунок 1.5 – Графики процесса деградации пути после выправочных работ в исследованиях британских ученых [95]

Результаты проведенных исследований показали, что степень улучшения состояния пути после подбивки зависит от эффективности подбивки и выправки неровностей, а также состояния балластного слоя под шпалами.

На железных дорогах Литвы «ЛГ» («Lietuvos Geležinkeliai») качество текущего содержания пути оценивается с помощью индекса ККИ (kelio kokybės indeksu).

В работе специалистов Вильнюсского технического университета Гедимина [96] представлены результаты исследований динамики изменения геометрических параметров пути с использованием индекса ККИ.

Был научно обоснован подход, согласно которому численное значение индекса качества ККИ соответствует сумме дисперсий семи геометрических параметров состояния пути (1.20):

$$KKI = \sigma_{Plotis}^2 + \sigma_{IDK}^2 + \sigma_{IDD}^2 + \sigma_{TIEK}^2 + \sigma_{TIED}^2 + \sigma_{Lygis}^2 + \sigma_{PER}^2 \quad (1.20)$$

Где:

KKI - показатель качества дороги, т.е. сумма отклонений всех геометрических параметров, мм²;

σ_{Plotis}^2 - дисперсия ширины колеи, мм²;

$\sigma_{IDK}^2, \sigma_{IDD}^2$ - дисперсия просядок левого и правого рельса, мм²;

$\sigma_{TIEK}^2, \sigma_{TIED}^2$ - дисперсия отклонений в плане левого и правого рельса, мм²;

σ_{Lygis}^2 - дисперсия уровня, мм²;

σ_{PER}^2 - дисперсия перекоса, мм²;

Индекс качества, полученный по формуле (1.20) сравнивается с допустимыми значениями, в результате чего принимается решение о необходимости проведения работ по текущему содержанию пути.

На практике индекс качества ККИ рассчитывается для 200-метрового участка, а затем суммируется до длины километра.

Оценка качества содержания железнодорожного пути на Финских железных дорогах [97] производится путем определения процентного содержания неудовлетворительных километров. Индекс качества состояния геометрии пути (GKRT) определяется по (1.21):

$$GKRT\% = 100\% + (P\% - T\%) - ET\% \quad (1.21)$$

Где:

$P\%$ - постоянная величина (указывается в договоре на техническое обслуживание);

$T\%$ - процент удовлетворительных километров;

$ET\%$ - процент неудовлетворительных километров;

Если, $(P\% - T\%) \geq 0$, то выражение принимается равным 0.

Обобщив результаты проведенного анализа отечественного и зарубежного опыта системы организации технического обслуживания пути и методов оценки состояния пути можно констатировать, что в настоящее время, как в нашей стране, так и за рубежом имеется большое количество методов оценки состояния пути: по динамическим реакциям подвижного состава, по статистическим характеристикам состояния пути и показателям качества, по амплитудным и спектральным характеристикам неровностей и др., а информация о состоянии пути является основой для определения потребности в ремонтах пути.

При этом на зарубежных железных дорогах на протяжении ряда десятилетий планирование работ осуществляется на базе автоматизированных систем, определяющих потребность в управляющем воздействии на путь по результатам оценки состояния пути с минимальным влиянием человеческого фактора.

На отечественных железных дорогах создание и внедрение таких автоматизированных систем для управления процессами изменения состояния пути в настоящее время является весьма актуальной задачей.

Разработка автоматизированных систем по планированию путевых работ на базе обработки данных о состоянии пути в режиме реального времени требует понимания о том, что путь является многоэлементной системой, а для определения потребности в ремонтах необходимо изучение процессов изменения каждого параметра такой системы и установление закономерностей его изменения во времени (по тоннажу). Одновременно с этим следует учитывать, что такие параметры, как геометрия рельсовой колеи, в ходе эксплуатации обладают свойствами восстанавливаемости после проведения работ, а уровень восстановления определяется рядом факторов, характеризующих условия эксплуатации конкретного участка.

На основании вышесказанного, можно сделать вывод о том, что в современных условиях эксплуатации на отечественных железных дорогах существует необходимость разработки новых нестандартных подходов в системе организации и планирования выправочных работ как на краткосрочный, так и на среднесрочный период с соответствующими алгоритмами расчетов.

Выводы по главе 1

1. Проведенный обзор становления нормативной базы по критериям назначения работ по планово-предупредительной выправке пути на отечественных железных дорогах показал, что в настоящее время основным критерием назначения выправочных работ, согласно Правил назначения ремонтов 2888р, является превышение количества отступлений по геометрии рельсовой колеи нормативов в зависимости от класса и специализации пути.

При этом согласно п.5.10 вышеуказанных Правил, предусмотрена необходимость прогноза состояния пути;

2. Анализ действующей нормативной базы на отечественных железных дорогах показал, что научно-обоснованная, широко апробированная и признанная специалистами методология прогноза геометрии рельсовой колеи, учитывающая схему организации работ по техническому обслуживанию пути на конкретных участках, в настоящее время не разработана;

3. Анализ опыта предыдущих исследований по оценке состояния конструкции верхнего строения пути и его элементов для планирования путевых работ показал, что широкий спектр ранее проведенных исследований по прогнозированию показателей состояния пути в большей степени относится к прогнозированию линейных зависимостей во времени при неизменных условиях эксплуатации;

4. В современных условиях для определения потребности в работах по устранению расстройств геометрии рельсовой колеи необходимо учитывать возможный нелинейный характер процессов изменения показателей, характеризующих состояние пути, и вариабельность характеристик пути во времени (при наработке тоннажа) за счет проведения работ по техническому обслуживанию и текущему содержанию пути, что требует разработки соответствующих алгоритмов расчетов и говорит об актуальности темы исследования автора.

Глава 2. Оценка влияния условий эксплуатации на появление и развитие расстройств пути

2.1 Постановка задачи

В современных условиях эксплуатации при высокой грузонапряженности и плотности поездопотока, основу системы организации и планирования выправочных работ должны составлять подходы, направленные на сокращение значительных потерь перевозочного процесса из-за предоставления «окон» для проведения работ, за счет концентрации имеющихся сил и средств на тех фронтах, где существует потребность в проведении работ как по фактическому состоянию пути (работы оперативного характера), так и по прогнозу (для планирования работ на среднесрочный период).

В системе организации технического обслуживания пути для принятия управленческих решений необходимо учитывать, что железнодорожный путь – изменяющаяся (деградирующая и восстанавливаемая) система, что для определения потребности в выправочных работах требует применения нестандартных подходов оценки закономерностей её изменения.

В основу этих подходов может быть положена специальная система статистической обработки информации о состоянии пути, позволяющая устанавливать количественные характеристики геометрии рельсовой колеи в различных условиях эксплуатации.

В условиях высокой грузонапряженности, система организации и планирования выправочных работ должна быть трехуровневой и включать:

1. порядок определения потребности в работах оперативного характера на коротких фронтах (по нормативам безопасности движения);
2. порядок определения потребности в работах на среднесрочный период по прогнозу изменения состояния пути для существующих и возможных перспективных условий эксплуатации при соответствующем изменении схемы

организации работ по техническому обслуживанию пути, на фронтах средней и большой протяженности;

3. порядок определения потребности в работах по оздоровлению целого перегона с различным состоянием пути – на широком фронте.

Трехуровневая система технического обслуживания пути механизированными комплексами впервые была предложена д.т.н., проф. Блажко Л.С. [123].

С одной стороны, путь имеет значительную протяженность по длине с неравномерным распределением на ряде участков отступлений и неисправностей, с другой стороны – процесс появления отступлений и неисправностей по геометрии рельсовой колеи во времени (при наработке тоннажа) характеризуется высокой степенью изменчивости за счет проведения работ по техническому обслуживанию и текущему содержанию.

С учетом вышесказанного, в работе предлагается усовершенствованная система организации и планирования выправочных работ для участков с высокой грузонапряженностью («О» и «Г1»), включающая порядок оценки состояния пути по длине и их изменчивости во времени (при наработке тоннажа), основу которой составляют методы специальной статистической обработки массива ежемесячных проходов вагонов путеизмерителей на участках пути, длиной в перегон – рисунок 2.1.

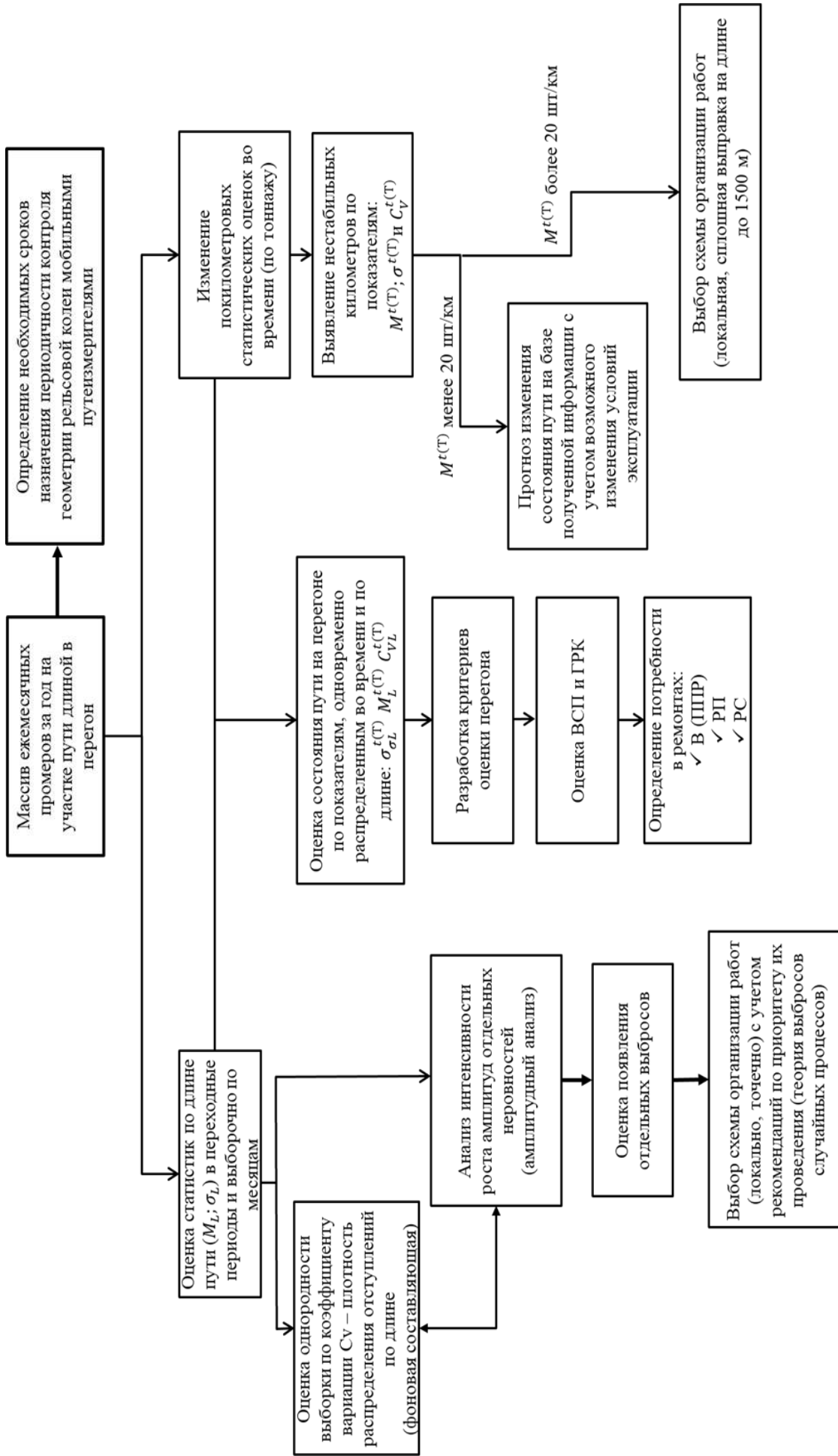


Рисунок 2.1 – Общий вид предлагаемой системы организации и планирования выправочных работ для линий с высокой грузонапряженностью («О» и «П»)

Для оценки состояния пути в границах участков пути, заданной протяженности, в работе предлагается Способ двухкомпонентной оценки стабильности участка пути по синтезу параметров стабильности по длине и во времени, основанный на результатах исследований д.т.н. Крейниса З.Л. [98] о стационарности и эргодичности случайного процесса отклонений рельсовых нитей на отрезках пути и д.т.н., проф. Певзнера В.О. [99] по оценке стабильности ширины колеи в зависимости от радиусов кривых и скоростей движения, а также на известных формулах статистики [100,101].

Применительно к характеристикам геометрии рельсовой колеи, стационарность может рассматриваться только относительно отрезков пути с постоянными характеристиками в плане и профиле.

Появление расстройств пути (отступлений и неисправностей) во времени является функцией как минимум трех параметров:

1. устройства пути (план и профиль);
2. прошедшего тоннажа;
3. качества технического обслуживания.

Параметры устройства пути можно принять показателем постоянным, а качество технического обслуживания – «условно постоянным» показателем в границах определенного участка анализа.

Таким образом, изменяющимся в данном случае является показатель пропущенного тоннажа.

Обобщив вышеизложенное, можно констатировать, что процесс накопления расстройств пути на реализации достаточного протяжения (участке пути длиной в перегон) можно рассматривать, в основном, в функции пропущенного тоннажа, а сами процессы появления отступлений и неисправностей во времени (по пропущенному тоннажу) принимать как стационарные и эргодические.

Стабильность - англ. stability; нем. stabilitat – это способность системы функционировать, не изменяя собственную структуру, и находиться в равновесии. Это определение должно быть неизменным во времени.

Применительно к железнодорожному пути, численно стабильность пути может быть охарактеризована статистическими показателями состояния пути: средним количеством отступлений II степени (без учета отступлений по ширине колеи) на участке заданной длины – M , среднеквадратическим отклонением (далее – СКО) отступлений II степени на участке заданной длины – σ и суммарным количеством отступлений II степени на участке заданной длины – N , а динамика изменения стабильности пути – по *изменению* указанных показателей во времени (по тоннажу).

Для оценки стабильности участка пути заданной длины (перегона, состоящего из L километров) по длине и во времени, предлагаемый Метод включает:

- определение показателей стабильности пути по каждому километру в момент времени t ;
- определение показателей стабильности пути в целом по перегону в момент времени t ;
- определение показателей стабильности пути по каждому километру за год;
- определение показателей стабильности пути в целом по перегону за год.

Исследование проводилось по массиву данных о количестве отступлений II степени без учета отступлений по ширине колеи (как основного критерия определения потребности в выправочных работах), полученному по результатам проходов вагонов путеизмерителей в течение двухлетнего периода на осбогрузонапряженных линиях Горьковской (ДИ ГОРЬК), Южно-Уральской (ДИ Ю-УР) и Северной (ДИ СЕВ) дирекций инфраструктуры.

Для исключения влияния множества различных факторов на показатели стабильности пути, участки подбирались в равнозначных условиях по грузонапряженности (в диапазоне 110-140 млн ткм бр./км в год), осевой нагрузке, типам обращающегося подвижного состава. Характеристики опытных участков приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Характеристики участков анализа

№ п/п	ПЧ	Направление	Участок*	Путь	Опытные км	Длина участка	Тип ВСП	Пропущенный тоннаж, млн т бр.	Радиусы кривых, м	Уклоны профиля, ‰	Грузонапр. млн ткм бр/км в год (в среднем в 2019 году)
Южно-Уральская дирекция инфраструктуры (ДИ Ю-УР)											
1	ПЧ-4	Самара-Челябинск	Аносово-Кисегач	Неч.	1935-2018	83 км	Р65, БП, ЖБ, Щ	57,0 – 785,2	290-4100	-14,7 +12	114,8
2	ПЧ-6		Кисегач-Шершни	Неч.	2018-2093	75 км	Р65, БП, ЖБ, Щ		300-4100	-14,7 +12	
Горьковская дирекция инфраструктуры (ДИ ГОРЬК)											
3	ПЧ-10	Киров-Екатеринбург	Поздино-Ардаши	Неч.	969-1029	60 км	Р65, БП, ЖБ, Щ	68,5 – 1500,2	331-2230	-10 +10	140,6
4	ПЧ-13		Ардаши-Чепша	Неч.	1030-1221	191 км	Р65, БП, ЖБ, Щ		500-2300	-10 +10	
Северная дирекция инфраструктуры (ДИ СЕВ)											
5	ПЧ-12	Буй-Киров	Костриха-Свеча	Неч.	644-819	175 км	Р65, БП, ЖБ, Щ	53,3 - 650,8	600-4000	-8,5 +6,5	116,4

*станционные пути из статистического анализа исключались

Для проведения анализа массив покилометровых данных ежемесячных промеров пути путеизмерителями делился на отрезки пути в соответствие с фактическими ремонтными схемами.

В результате, общий объем статистической выборки за 12 месяцев 2019 года (анализ проводился только по 1 грузовому пути) составил 37 отрезков пути, 479 километров, 5748 точек, а за двухлетний период – 11 496 точек – таблица 2.2.

Таблица 2.2 – Объем статистической выборки для оценки состояния пути

	Кол-во отрезков пути, шт.	Кол-во километров, шт.	Объем выборки, точек
ДИ Ю-УР	10	117	117км*12мес.=1404
ДИ СЕВ	13	137	137км*12 мес.=1644
ДИ ГОРЬК	14	215	215км*12 мес.=2580
Итого (1 год)	37	479	5748
		(2 года)	11 496

2.2 Оценка стабильности участка пути по длине

В границах перегона состояние пути на километрах (пикетах) даже при одной наработке тоннажа может различаться весьма значительно.

Это обусловлено различной протяженностью проводимых ремонтных работ и планово-предупредительной выправки пути.

Для оценки стабильности участка пути по длине в работе участки дифференцировались по длине в зависимости от схемы организации ремонтных работ, принимая, что распределение отступлений во времени на участке пути заданной реализации (отрезке пути) является случайным стационарным эргодическим процессом [98].

В [102] сказано, что свойства случайного процесса можно оценить в любой момент времени путем усреднения по совокупности выборочных функций, образующих случайный процесс.

Под выборочной функцией следует понимать реализацию случайного процесса, описывающего случайное явление.

Среднее значение (первый момент) этого случайного процесса в момент времени t_1 можно вычислить, взяв мгновенные значения всех выборочных функций ансамбля в момент времени t_1 , сложив эти значения и разделив на количество выборочных функций.

Следовательно, $M_x(t_1)$ – среднее значение случайного процесса $\{x(t)\}$, где $\{ \}$ - ансамбль выборочных функций, определяется (2.1):

$$M_x(t_1) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k(t_1) \quad (2.1)$$

где:

N – количество километров на участке заданной длины (перегоне);

$x_k(t_1)$ – мгновенные значения выборочных функций, образующих случайный процесс появления отступлений на N километрах в момент времени t_1 .

Схематично этот процесс можно представить в следующем виде – рисунок 2.2.

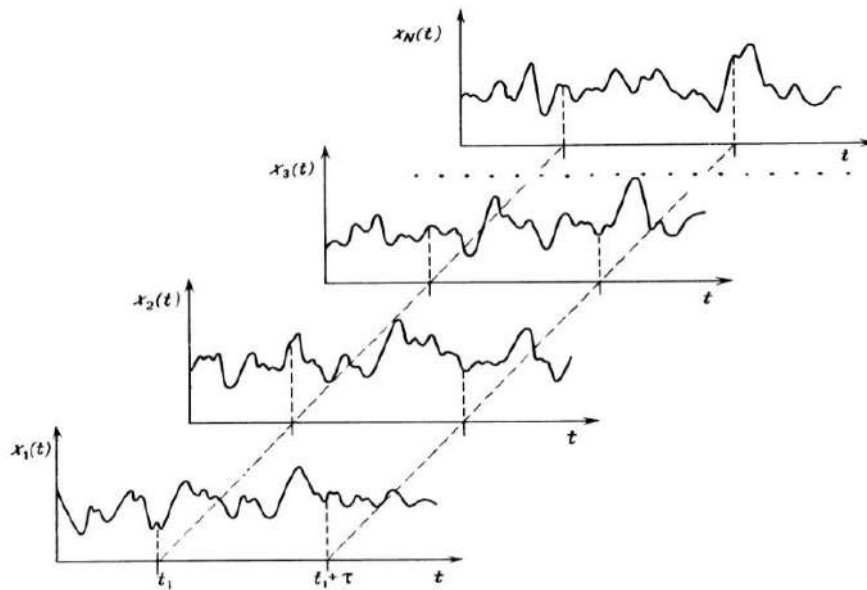


Рисунок 2.2 – Ансамбль реализаций, задающих случайный процесс

где:

$x_i(t)$ – выборочные функции, образующие случайный процесс появления отступлений на N километрах

Как показано на рисунке 2.2, случайный процесс (в данном случае это процесс появления отступлений во времени на отдельных километрах в границах

отрезка пути) описывается некоторыми выборочными функциями случайного характера.

Совокупность выборочных функций для каждого километра образуют ансамбль реализаций, объем которого зависит от длины участка (отрезка пути), состоящего из нескольких километров.

Оценка стабильности участка пути по длине заключается в определении показателей стабильности участка пути в момент времени t по ансамблю реализаций случайного процесса появления отступлений на километрах, образующих этот отрезок пути.

К таким показателям относятся:

M_L – среднее количество отступлений II степени на длине участка пути (шт./км);

σ_L – среднеквадратическое отклонение отступлений II степени на длине участка пути (шт./км).

Исходя из вышесказанного, сформулируем первый вывод: оценка стабильности участка пути по длине производится по ансамблю данных с близких по характеристикам километров (в соответствие с ремонтной схемой) в момент времени t .

На базе анализа распределения отступлений и неисправностей по длине участка пути определяются следующие показатели:

1. плотность распределения отступлений по длине участка пути для определения потребности в работах локального характера (100-300 м),
2. потребность в работах по устранению отдельных отступлений (точечная выправка) на основании алгоритмов теории выбросов случайных процессов, что подробно рассмотрено в следующих главах работы.

Плотность распределения отступлений по длине участка пути - это количественный параметр, характеризующий отношение количества отступлений на отрезке пути к единице длины.

Рассматривая распределение количества отступлений II степени на участке пути в момент времени t как статистическую выборку объема L (L – количество

километров на участке), в первом приближении оценить однородность выборки можно с использованием коэффициента вариации, определяемого по (2.2):

$$C_{vL} = \frac{\sigma_L}{M_L} \quad (2.2)$$

Согласно принятой в статистике градации, значения коэффициента вариации оцениваются следующим образом:

если значение коэффициента вариации не превышает 0,33, то совокупность считается однородной,

если больше 0,33, то – неоднородной.

Если выборка однородна, это свидетельствует о том, что процесс расстройств пути на данном отрезке пути происходит в едином темпе, а распределение отступлений по длине участка – равномерно.

Из этого следует второй вывод: однородность выборки по коэффициенту вариации C_{vL} указывает на равномерное распределение количества отступлений и расстройств по длине участка пути

В настоящее время система оценки состояния пути [103] включает амплитудную оценку отдельных отступлений с назначением штрафных баллов и покилометровую оценку количества отступлений (ПУ-32).

В тоже время, показатель плотности распределения отдельных отступлений по длине участка (отрезка пути) – при планировании выправочных работ на фронтах короткой и средней длины в настоящее время нормативными документами не учитывается.

Рассмотрим несколько примеров.

Пример 1. На перегоне при среднем количестве отступлений $M = 50$ шт. км и среднеквадратическом отклонении этих отступлений $\sigma = 10$ шт./км, получим коэффициент вариации:

$$C_{vL} = \frac{10}{50} = 0,2$$

что свидетельствует об однородности статистической выборки, однако по количеству отступлений норматив назначения планово-предупредительной

выправки (более 20 шт./км в [6] для линий специализации «О») превышен более чем в 2 раза.

Принимая тот факт, что отступления распределены по длине участка равномерно, в этом случае целесообразно назначение сплошной планово-предупредительной выправки целого перегона.

Пример 2. На перегоне при среднем количестве отступлений $M = 15$ шт./км и среднеквадратическом отклонении этих отступлений $\sigma = 2$ шт./км, получим коэффициент вариации:

$$C_{vL} = \frac{2}{15} = 0,13$$

что также свидетельствует об однородности статистической выборки. По среднему количеству отступлений $M < 20$ шт./км. Это означает, что сплошная выправка перегона не требуется, однако, в зависимости от распределения отступлений по длине перегона, может потребоваться локальная выправка на отдельных пикетах.

Таким образом, статистическая оценка состояния пути на перегоне по коэффициенту вариации должна проводиться в совокупности с оценкой состояния перегона по среднему показателю суммарного количества отступлений – т.е. с учетом фоновой составляющей.

Рассмотрим 3 пример:

Пример 3. На перегоне при среднем количестве отступлений $M = 20$ шт./км и среднеквадратическом отклонении этих отступлений $\sigma = 8$ шт./км, получим коэффициент вариации:

$$C_{vL} = \frac{8}{20} = 0,4$$

Значение коэффициента вариации 0,4 указывает на неоднородность статистической выборки. Это означает, что на перегоне отступления распределены неравномерно, что требует проведения дополнительного анализа по выявлению мест, требующих проведения работ на коротких фронтах.

Таким образом, по результатам анализа распределения отступлений и неисправностей по длине участка пути в момент времени t производится выбор схемы организации работ:

работы по локальной выправке (на длине 100-300 м) – на основании плотности распределения отступлений по длине перегона;

работы по оперативному устранению отдельных отступлений – на основании алгоритмов теории выбросов случайных процессов, что подробно рассмотрено в следующих главах работы.

2.3 Оценка стабильности участка пути во времени (по тоннажу)

Как указывалось выше, совокупность выборочных функций изменения состояния пути для отдельных километров с близкими характеристиками (согласно ремонтным схемам) можно рассматривать как ансамбль реализаций, распределенных по длине участка пути.

Рассмотрим изменчивость характеристик состояния пути во времени (при наработке тоннажа) на отдельных километрах с учетом восстанавливаемости системы за счет проведения выправочных работ.

Опыт эксплуатационных наблюдений и предыдущих исследований [42,48,49,52] показал, что жизненный цикл пути между капитальными ремонтами можно охарактеризовать тремя стадиями:

1. Период стабилизации пути после капитального ремонта;
2. Период стабильной работы пути;
3. Период интенсивного роста расстройств.

По результатам исследований в [104] установлено, что без глубокой очистки путь может рассматриваться как нестабилизированный после окончания работ до пропуска 350 тыс. т тоннажа. Критерий характеризует окончание осадки пути после подбивочных работ для открытия движения с установленными скоростями [105].

В современных условиях при глубокой очистке пути в ходе ремонтов проведение послеосадочной выправки не требуется. Таким образом, завершение стадии стабилизации пути, характеризуемой полным окончанием общей осадки пути после ремонтов, можно ожидать до наработки 350 млн т бр. пропущенного тоннажа.

Таким образом, при описании стадии стабилизации пути будем принимать диапазон тоннажа от капитального ремонта до пропуска 350 млн т бр.

После стадии стабилизации следует стадия стабильной работы пути. На этой стадии работ по техническому обслуживанию пути и промежуточных ремонтов достаточно для поддержания пути в «отличном» и «хорошем» состоянии при отсутствии резко выраженной динамики по ухудшению состояния пути.

Резкое увеличение количества отступлений и расстройств характеризует переход к следующей стадии – периоду интенсивного роста расстройств, характеризующегося возможным непредсказуемым ухудшением состояния пути.

Считается, что стадия интенсивного роста расстройств начинается после пропуска тоннажа близкого к 700 млн т бр. и выше (это наработка тоннажа, при которой требуется проведение капитального ремонта, согласно ремонтным схемам в [6]).

Однако, в современных условиях эксплуатации на особогрузонапряженных участках период интенсивного роста расстройств начинается значительно раньше, а стадия стабилизации пути может переходить в стадию интенсивного роста расстройств без периода стабильной работы пути, что обусловлено быстрой наработкой тоннажа в единицу времени, отсутствием, на ряде участков, возможности в проведении профилактических работ, низким качеством ремонтов.

Таким образом, длительность каждой стадии определяется условиями эксплуатации и своевременно проведенными промежуточными ремонтами пути.

Для оценки изменчивости стабильности пути на отдельных километрах, эксплуатирующихся на различных стадиях жизненного цикла, был проведен анализ состояния пути в функции пропущенного тоннажа и состава выправочных

работ на примере опытных километров грузового хода Горьковской железной дороги.

По опыту эксплуатационных наблюдений, километры отбирались по диапазонам пропущенного тоннажа, согласно таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Этапы жизненного цикла состояния пути

Этап жизненного цикла состояния пути	Пропущенный тоннаж, млн т бр.	Примечание
этап 1	350 и менее	период стабилизации пути после капитального ремонта
этап 2	350-700	период стабильной работы пути
этап 3	700-850	период интенсивного роста расстройств
этап 4	850 и более	снижение количества отступлений после промежуточных ремонтов РС (РП) при ремонтной схеме до 1400 млн т бр.

Согласно Правил ремонтов 2888р [6], ремонтная схема на линиях специализации О («особогрузонапряженные») при межремонтном цикле 1400 млн т бр. имеет вид:

КРН-В-В-РС(РП)-В-П-КРН

В период между капитальными ремонтами 1 уровня при наработке 700 млн т бр. предусмотрен капитальный ремонт 3 уровня (РС, РП), при котором производится сплошная смена рельсов новыми, сопровождаемая работами в объемах среднего ремонта (С), а в последующем – сплошная выправка (В) или подъемочный ремонт (П).

В ходе исследований было установлено, что на участках с наработкой 700- 850 млн т бр., где несвоевременно проводился промежуточный капитальный ремонт 3 уровня, рост расстройств выше, чем на участках с наработкой более 850 млн т бр., где такой вид ремонта проводился в нормативный срок.

Кроме того, как известно, потребность в работах по выправке пути, а следовательно, и частота их проведения, возрастает в функции пропущенного тоннажа.

С учетом вышеизложенного, в работе было принято решение, по возможности, рассматривать два диапазона с пропущенным тоннажом: 700- 850 млн т бр. и более 850 млн т бр. на участках с ремонтной схемой до 1400 млн т бр.

Анализ проводился по данным о количестве отступлений II степени (без учета ширины колеи), полученным по результатам обработки ежемесячных проходов путеизмерителей за двухлетний период.

Анализ в функции времени t (пропущенного тоннажа T) проводился путем определения величины ежемесячного прироста количества отступлений II степени с расчетом основных статистических характеристик:

$M^{t(T)}$ - среднегодовой величины прироста количества отступлений, шт./км;

$\sigma^{t(T)}$ - величины среднеквадратического отклонения прироста количества отступлений, шт./км.

В качестве примеров рассмотрим 4 участка на грузовом ходу направления Киров-Екатеринбург, эксплуатирующихся на различных стадиях жизненного цикла пути:

участок 1 - в конце периода наблюдений с наработкой тоннажа 275 млн т бр. (1045 км);

участок 2 – в конце периода наблюдений с наработкой тоннажа 475 млн т бр. (969 км);

участок 3 – в конце периода наблюдений с наработкой тоннажа 850 млн т бр. (1089 км);

участок 4 – в конце периода наблюдений с наработкой тоннажа 1190 млн т бр. (1004 км), при тоннаже 850 млн т бр. проведен ремонт РС/РП.

Распределение суммарного количества отступлений II степени по геометрии рельсовой колеи за двухлетний период на первом участке приведено на рисунке 2.3.

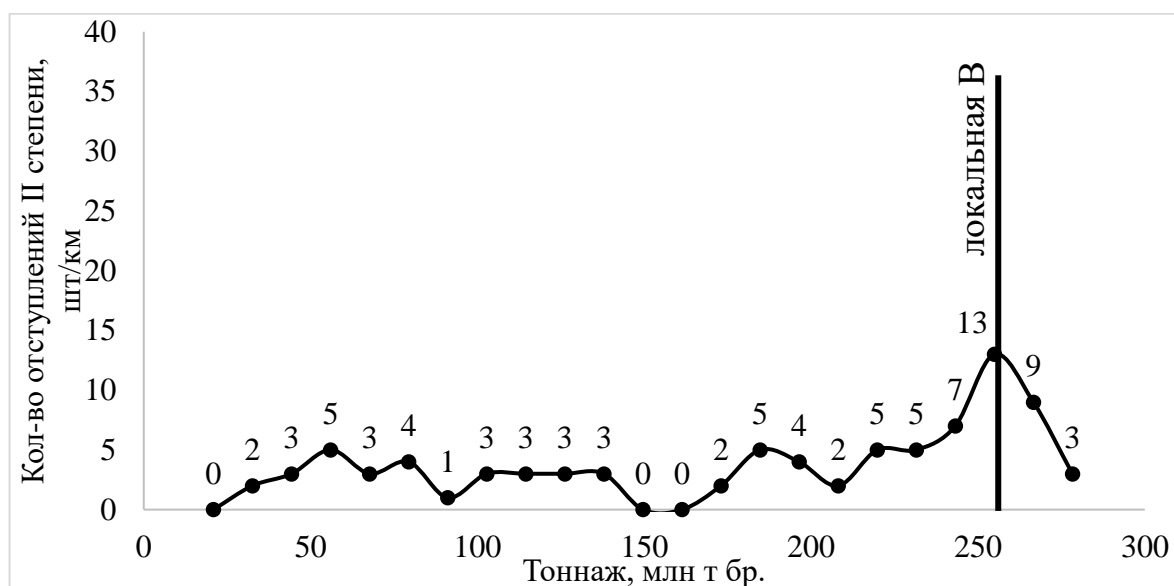


Рисунок 2.3 – Распределение количества отступлений II степени в функции прошедшего тоннажа на 1045 км 1 пути направления Киров-Екатеринбург с наработкой до 275 млн т бр. (В – выправка)

Как следует из рисунка, показатели стабильности на данном участке составляют (таблица 2.4.):

Таблица 2.4 – Показатели стабильности 1 участка с наработкой до 275 млн т бр.

	$M^{t(T)}$, шт./км	$\sigma^{t(T)}$, шт./км
До 1 локальной выправки	3,5	2,8
В целом за рассматриваемый цикл времени	3,7	2,9

Анализ распределения отступлений во времени на километре с наработкой менее 350 млн т бр. показал, что процесс появления отступлений можно охарактеризовать наличием длительного периода стабильной работы с последующим ростом расстройств, устраняемых за счет частичной (локальной) выправки на отдельных пикетах.

Распределение суммарного количества отступлений II степени по геометрии рельсовой колеи за двухлетний период на втором участке приведено на рисунке 2.4.

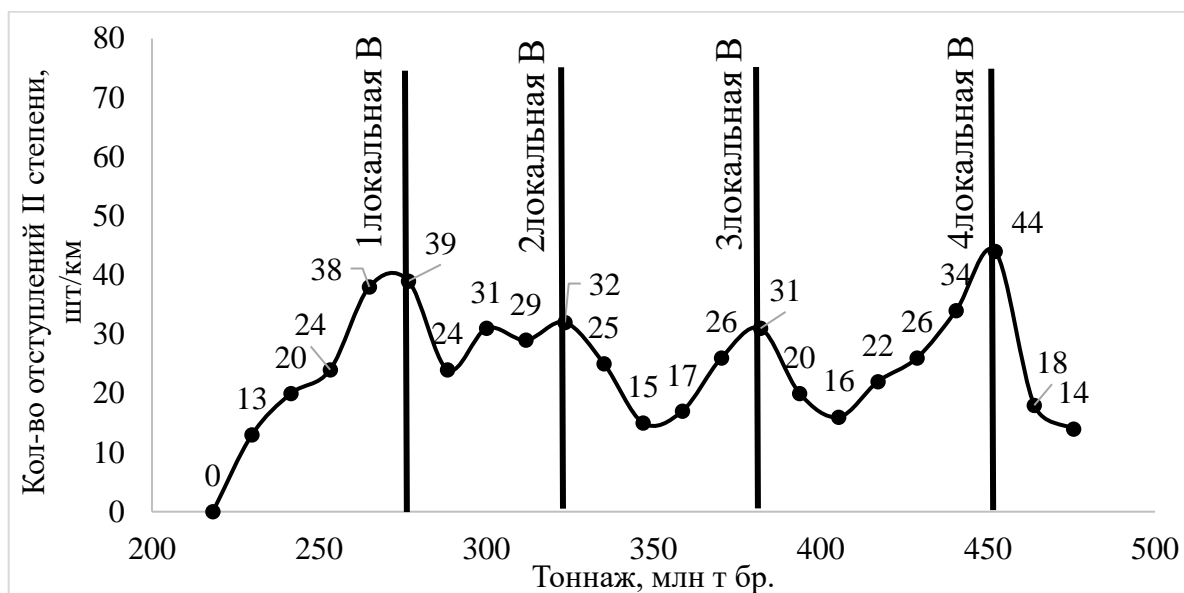


Рисунок 2.4 – Распределение количества отступлений II степени в функции прошедшего тоннажа на 969 км 1 пути направления Киров-Екатеринбург с наработкой до 475 млн т бр.

(В – выправка, локальная В – выправка по отдельным пикетам)

Как следует из рисунка, показатели стабильности на данном участке составляют (таблица 2.5):

Таблица 2.5 – Показатели стабильности 2 участка с наработкой до 475 млн т бр.

	$M^{t(T)}$, шт./км	$\sigma^{t(T)}$, шт./км
До 1 локальной выправки	23,3	13,6
До 2 локальной выправки	29,0	3,1
До 3 локальной выправки	22,8	5,9
До 4 локальной выправки	27,0	9,4
В целом за рассматриваемый цикл времени	24,3	9,7

Анализ распределения отступлений на километре с наработкой тоннажа до 475 млн т бр. – рисунок 2.4 – показал, что на участке периоды стабильной работы пути отсутствуют, а после каждой частичной (локальной) выправки следует интенсивный рост расстройств. Среднее количество отступлений на километре –

24,3 шт./км, что указывает на потребность в сплошной выправке пути вместо фактически проведенной частичной (локальной).

Распределение суммарного количества отступлений II степени по геометрии рельсовой колеи за двухлетний период на третьем участке приведено на рисунке 2.5.

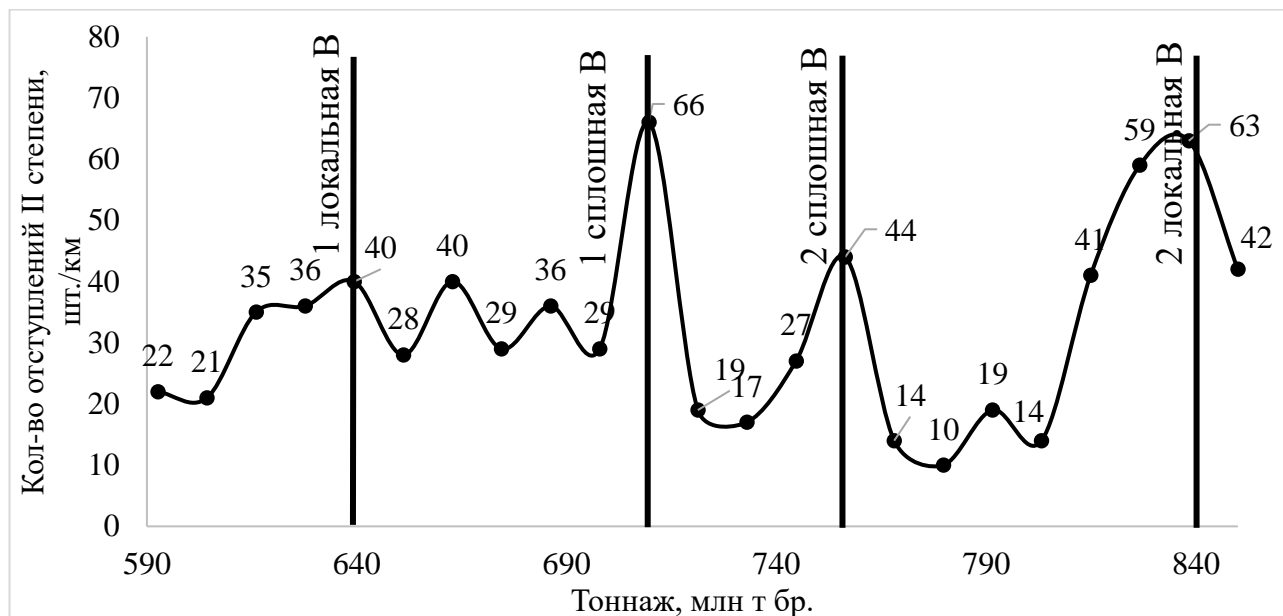


Рисунок 2.5 – Распределение количества отступлений II степени в функции прошедшего тоннажа на 1089 км 1 пути направления Киров-Екатеринбург с наработкой до 850 млн т бр.

(В – выправка, локальная В – выправка по отдельным пикетам)

Как следует из рисунка, показатели стабильности на данном участке составляют (таблица 2.6):

Таблица 2.6 – Показатели стабильности 3 участка с наработкой до 850 млн т бр.

	$M^{t(T)}$, шт./км	$\sigma^{t(T)}$, шт./км
До 1 локальной выправки	30,8	7,8
До 1 сплошной выправки	38,0	13,3
До 2 сплошной выправки	26,8	10,6
До 2 локальной выправки	31,4	20,9
В целом за рассматриваемый цикл времени	36,7	15,2

Анализ распределения отступлений на километре с наработкой тоннажа до 850 млн т бр. – рисунок 2.5 – показал, что вследствие отсутствия промежуточных

видов ремонтов, предусмотренных ремонтной схемой (РС-РП) при наработке 700 млн т бр. тоннажа, количество отступлений в стадии интенсивного роста резко возрастает до 63-66 шт./км. При этом, среднее количество отступлений по перегону в течение рассматриваемого временного цикла составило 36,7 шт./км, что в 1,5 раза выше, чем на предыдущем участке с меньшей наработкой тоннажа.

Распределение суммарного количества отступлений II степени по геометрии рельсовой колеи за двухлетний период на 4 участке (при тоннаже 850 млн т бр. проводился промежуточный ремонт РС/РП) приведено на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Распределение количества отступлений II степени в функции прошедшего тоннажа на 1004 км 1 пути направления Киров-Екатеринбург с наработкой до 1190 млн т бр. (В – выправка)

Как следует из рисунка, показатели стабильности на данном участке составляют (таблица 2.7):

Таблица 2.7 – Показатели стабильности 4 участка с наработкой до 1190 млн т бр.

	$M^{t(T)}$, шт./км	$\sigma^{t(T)}$, шт./км
До 1 сплошной выправки	15,4	9,0
В целом за рассматриваемый цикл времени	8,1	6,6

Анализ распределения отступлений на километре с наработкой тоннажа до 1190 млн т бр. – рисунок 2.6 – показал, что даже при большей наработке тоннажа (более 850 млн т бр.), но после проведенного ремонта (РС/РП – при тоннаже

850 млн т бр.) и последующей выправки, на участке наблюдается длительный период стабильной работы пути, поддерживаемый за счет работ по текущему содержанию пути.

Обобщив результаты проведенного анализа можно констатировать, что процесс распределения отступлений во времени (при наработке тоннажа) характеризуется стадиями стабильной работы и периодами интенсивного (или плавного) роста расстройств.

Длительность и соотношение каждой стадии определяется объемами и составом работ по выправке пути (сплошная или локальная выправка, наличие или отсутствие промежуточной РС-РП), а также климатическими факторами (на ряде участков в весенний и осенний периоды рост расстройств наиболее интенсивен).

Также следует отметить, что после каждой следующей выправки пути интенсивность роста отступлений увеличивается и после сплошной выправки интенсивность прироста ниже, а период стабильной работы дольше, чем после частичной (локальной) выправки отдельных пикетов.

Графически распределение отступлений во времени на опытных участках грузового пути с различной наработкой тоннажа по показателям стабильности участка пути во времени $M^{t(T)}$ и $\sigma^{t(T)}$ приведено на рисунках 2.7 и 2.8.

Диаграммы на рисунках 2.7 и 2.8 иллюстрируют, что при отсутствии (или несвоевременном проведении) промежуточных видов ремонтов (РС-РП) при пропуске тоннажа 700 млн т бр. (согласно ремонтной схеме до наработки 1400 млн т бр. в [6]), наблюдается резкий рост количества отступлений. После проведения промежуточных видов ремонтов, даже при наработке более 950 млн т бр., количество отступлений снижается. Это подтверждает эффективность проведения промежуточных ремонтов при эксплуатации пути до наработки 1400 млн т бр.

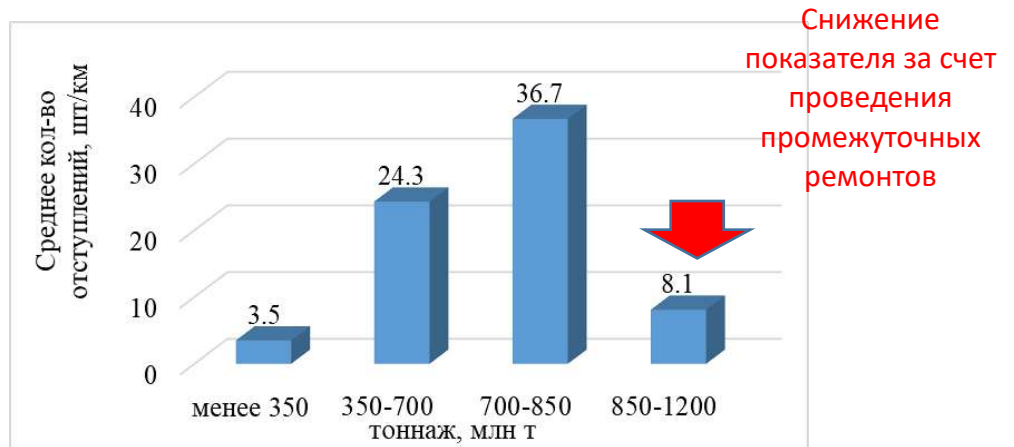


Рисунок 2.7 – Распределение отступлений во времени по показателю $M^{t(T)}$ на участках с различной наработкой тоннажа за двухлетний период наблюдений

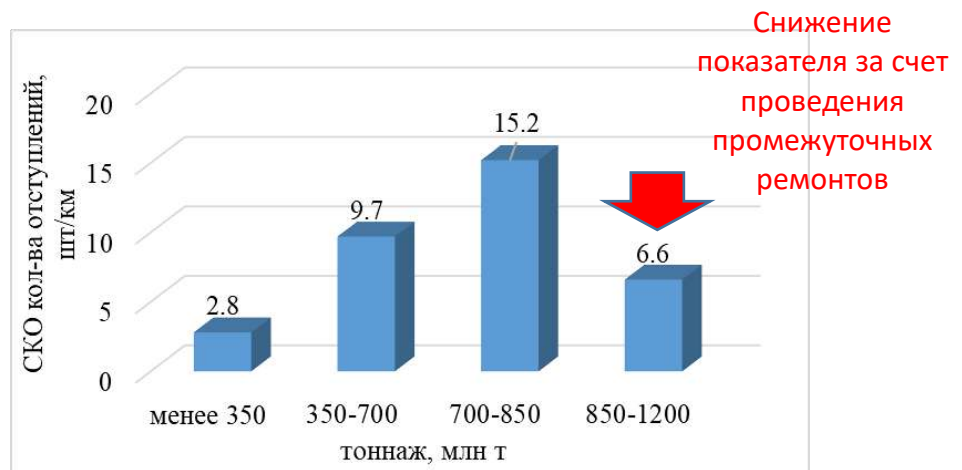


Рисунок 2.8 – Распределение отступлений во времени по показателю $\sigma^{t(T)}$ на участках с различной наработкой тоннажа за двухлетний период наблюдений

2.4 Оценка стабильности пути по показателям, одновременно распределенным по длине и во времени

Проведенный выше анализ распределения отступлений отдельно по длине участка пути с близкими характеристиками и во времени (на отдельных километрах) показал, что:

- путь является динамической во времени системой, имеющей свойства восстанавливаемости после проведения работ по техническому обслуживанию и промежуточных ремонтов пути, что необходимо учитывать при планировании выправочных работ на среднесрочный период;

– ввиду значительной протяженности по длине участков с различным состоянием пути, для выявления мест, требующих проведения оперативных работ на коротких фронтах, систему оценки состояния пути необходимо дополнить показателем плотности распределения отступлений по длине участка с учетом вероятностной составляющей появления отдельных отступлений (теория выбросов случайных процессов).

В условиях высокой изменчивости состояния пути при эксплуатации участков с большой грузонапряженностью, стандартный анализ по определению статистических характеристик состояния пути (по средним значениям и СКО выборки) предлагается дополнить оценкой стабильности участка пути одновременно по длине и во времени.

Исходными данными для расчета являются:

1. N_i – количество единиц исследуемого параметра за период наблюдений t в расчете на километр;
2. t – период наблюдений (количество месяцев);
3. L – длина участка, км.

Способ двухкомпонентной статистической оценки стабильности пути по параметрам, распределенным по длине и во времени (по тоннажу), включает определение следующих показателей стабильности:

- а). Изменчивость во времени средней величины исследуемого параметра, распределенного по длине участка пути, предлагается оценивать по величине:

$M_L^{t(T)}$ – показатель, характеризующий среднее значение исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L (2.3):

$$M_L^{t(T)} = \frac{\sum_{i=1}^{12} M_L}{12} \quad (2.3)$$

где:

M_L – показатель среднего значения исследуемого параметра по длине перегона L ;

12 – месяцев за рассматриваемый период.

б). Количественную характеристику стабильности участка пути предлагается оценивать по величине:

$\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ - показатель, характеризующий изменчивость (разброс) значений исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L (2.4):

$$\sigma_{\delta L}^{t(T)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (\sigma_L - \overline{\sigma_L^{t(T)}})^2}{12}} \quad (2.4)$$

где:

σ_L – показатель разброса исследуемого параметра по длине перегона;

$\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ – показатель, характеризующий среднее значение изменчивости (средний разброс) значений исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L (2.5):

$$\overline{\sigma_L^{t(T)}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} \sigma_L}{12} \quad (2.5)$$

Два последних показателя характеризуют линейный размах (разброс) системы во времени (в узком или широком диапазоне значений). Другими словами, служат для оценки энтропии системы во времени (при эксплуатации).

Пример расчета показателей стабильности участка пути по длине и во времени (по тоннажу) приведен в приложении А.

Результаты анализа по ансамблю данных, взятых с участков (перегонов) с одинаковой схемой организации ремонтов пути, при различном нарастающем пропущенном тоннаже, позволили установить следующие диапазоны значений показателей стабильности, распределенных по длине и во времени – таблица 2.8.

Результаты проведенного анализа показали, что даже при одинаковых условиях эксплуатации состояние пути на участках может различаться в широких диапазонах значений, что обусловлено различной схемой организации работ по техническому обслуживанию пути и условиями эксплуатации (на участках ДИ Ю-УР путь менее стабилен, что может быть обусловлено влиянием сложных условий (уклоны профиля до 12‰). На участках ДИ ГОРЬК и ДИ СЕВ уклоны профиля менее 10‰, поэтому ухудшение состояния пути наблюдается при пропуске

тоннажа близкого к 700 млн т бр. На участках ДИ СЕВ стабильность пути выше, чем на участках ДИ ГОРЬК и Ю-УР, что обусловлено своевременностью проведения ремонтов пути и выправочных работ).

Таблица 2.8 - Диапазоны показателей стабильности по длине и во времени на участках анализа

Тоннаж, млн т бр.	Показатели стабильности участков пути грузовых ходов		
	$M_L^{t(T)}$, шт./км	$\sigma_{\delta L}^{t(T)}$, шт./км	$\overline{\sigma_L^{t(T)}}$, шт./км
на ДИ ГОРЬК			
350 и менее	0,94 – 2,05	0,36 - 0,78	1,00 - 2,10
350-700	3,57 - 8,90	1,10 - 3,94	3,4 - 4,63
700-850	3,62 - 13,61	1,10 – 4,20	3,37 – 8,93
850 -1500	2,79 – 9,80	1,47 – 6,66	1,85 – 11,97
на ДИ Ю-УР			
350 и менее	1,55 – 1,89	0,80 – 0,91	1,46 – 1,67
350-700	10,23 – 26,33	2,11 – 5,91	6,34 – 11,57
700-785,2	3,90 – 18,40	1,00 – 6,50	4,00 – 14,30
на ДИ СЕВ			
350 и менее	0,83 – 3,93	0,67 – 1,01	1,54 – 2,64
350-550	2,76 – 3,28	1,11 – 1,97	3,15 – 3,37
550-710,0	1,71 – 8,77	0,61 – 1,86	1,83 – 4,75

Таким образом можно констатировать, что состояние пути и динамика его изменения во времени зависит не только от величины пропущенного тоннажа после капитального ремонта, но и от периодичности проведения промежуточных ремонтов пути и работ по техническому обслуживанию пути. Проведем более подробный анализ стабильности участков пути по длине и во времени на примерах участков грузового хода Горьковской, Южно-Уральской и Северной дирекций инфраструктуры.

2.4.1 Оценка стабильности пути на перегонах Горьковской дирекции инфраструктуры

На участках Горьковской дирекции инфраструктуры (ДИ ГОРЬК) анализ проводился на перегонах, находящихся в границах двух дистанций пути: Кировской и Глазовской. Рассматривался грузовой 1 путь.

На первом этапе анализа участки были сгруппированы в соответствие с фактическими ремонтными схемами по диапазонам пропущенного тоннажа (таблица 2.8). Далее проводилась статистическая обработка массива данных о состоянии пути по количеству отступлений II степени с расчетом показателей стабильности по длине участка и во времени (при наработке тоннажа) за рассматриваемый период по формулам (2.3)-(2.5).

Для определения интенсивности прироста вышеприведенных показателей стабильности на различных стадиях жизненного цикла пути были получены зависимости, характеризующие динамику изменения показателей стабильности пути при наработке тоннажа по ансамблю сгруппированных данных и различном нарастающем пропущенном тоннаже – рисунок 2.9.

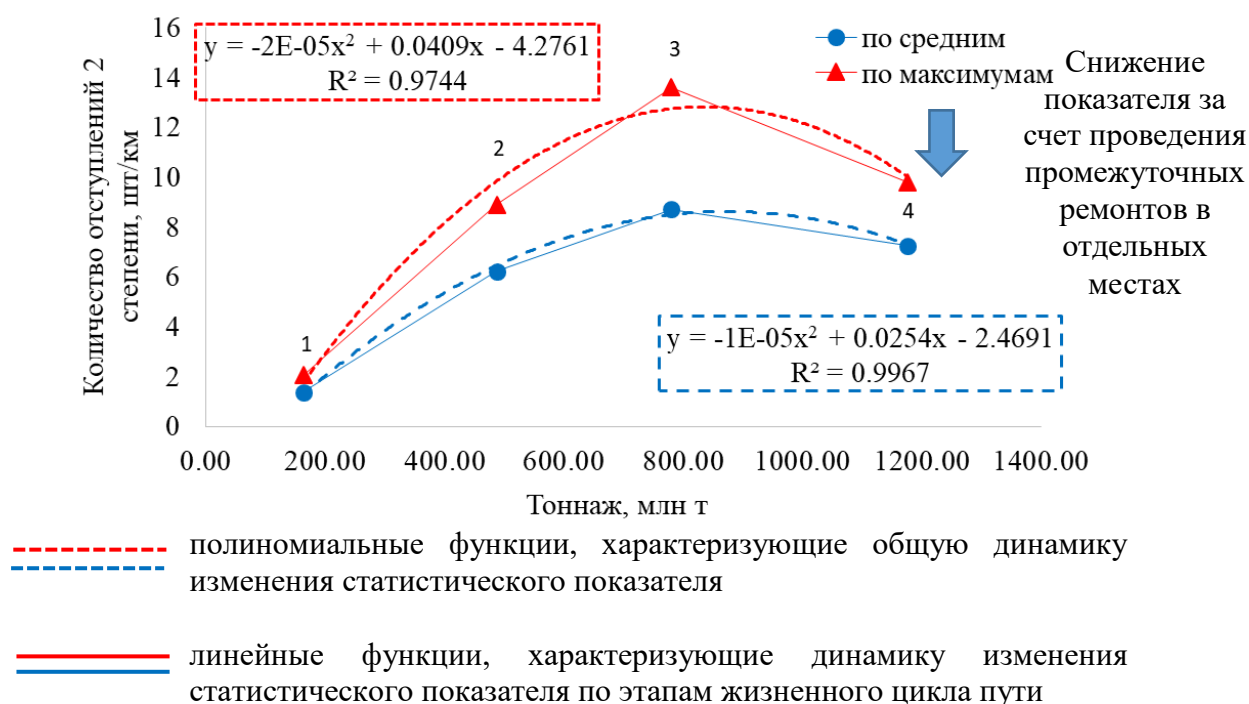


Рисунок 2.9 - Зависимости среднегодового количества отступлений II степени $N(M_L^{t(T)})$ при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов ДИ ГОРЬК

Зависимости были построены по средним и максимальным значениям показателей стабильности в каждом диапазоне сгруппированной выборки.

Как показано на рисунке 2.9, изменение средней величины количества отступлений при наработке тоннажа описывается полиномиальными функциями 2го порядка возрастающего, а затем убывающего характера.

Темп прироста количества отступлений по мере роста тоннажа можно охарактеризовать линейными функциями следующего вида – таблица 2.9, а численно оценить прирост показателя – по величине углового коэффициента в уравнении функции.

Таблица 2.9 - Характеристики линейных функций изменения среднегодового количества отступлений II степени $M_L^{t(T)}$, шт./км, на различных этапах жизненного цикла пути

Интервалы между этапами жизненного цикла пути	Уравнение линейной функции	Угловой коэффициент функции, α шт./млн т бр.
по средним		
1-2	$N_{1-2} = 0,015T - 1,0923$	0,0150
2-3	$N_{2-3} = 0,0076T + 4,9862$	0,0076
3-4	$N_{3-4} = -0,0045T + 9,4301$	-0,0045
по максимумам		
1-2	$N_{1-2} = 0,0211T - 1,3993$	0,0211
2-3	$N_{2-3} = 0,0161T + 1,0586$	0,0161
3-4	$N_{3-4} = -0,0096T + 21,134$	-0,0096

Как следует из полученных данных, интенсивность прироста средней величины количества отступлений N , характеризуемая углом наклона линейной функции относительно горизонтальной оси, на различных этапах жизненного цикла пути неравномерна. Так, по средним значениям наибольший прирост функции ($\alpha = 0,0150$ шт./млн т бр.) наблюдается при переходе из периода стабилизации в период стабильной работы пути (т.1 – т.2 на рисунке 2.9), а при пропуске тоннажа более 850 млн т бр. функция убывает на величину угла $\alpha = 0,0045$ шт./млн т бр. (т.3 – т.4 на рисунке 2.9), что объясняется проведенными промежуточными ремонтами пути.

По максимумам наибольший прирост средней величины количества отступлений наблюдается при переходе из стадии стабилизации в стадию

стабильной работы пути ($\alpha = 0,0211$ шт./млн т бр.), с дальнейшим снижением количества отступлений после пропуска 850 млн т бр. с интенсивностью $\alpha = 0,0096$ шт./млн т бр.

Для оценки изменения величины линейного разброса системы во времени (при эксплуатации) по показателю среднеквадратического отклонения количества отступлений аналогично были получены зависимости изменения средней и максимальной величины среднеквадратического отклонения ($\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ и $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$) в различных диапазонах сгруппированной выборки при различном нарастающем пропущенном тоннаже – рисунки 2.10 а,б.

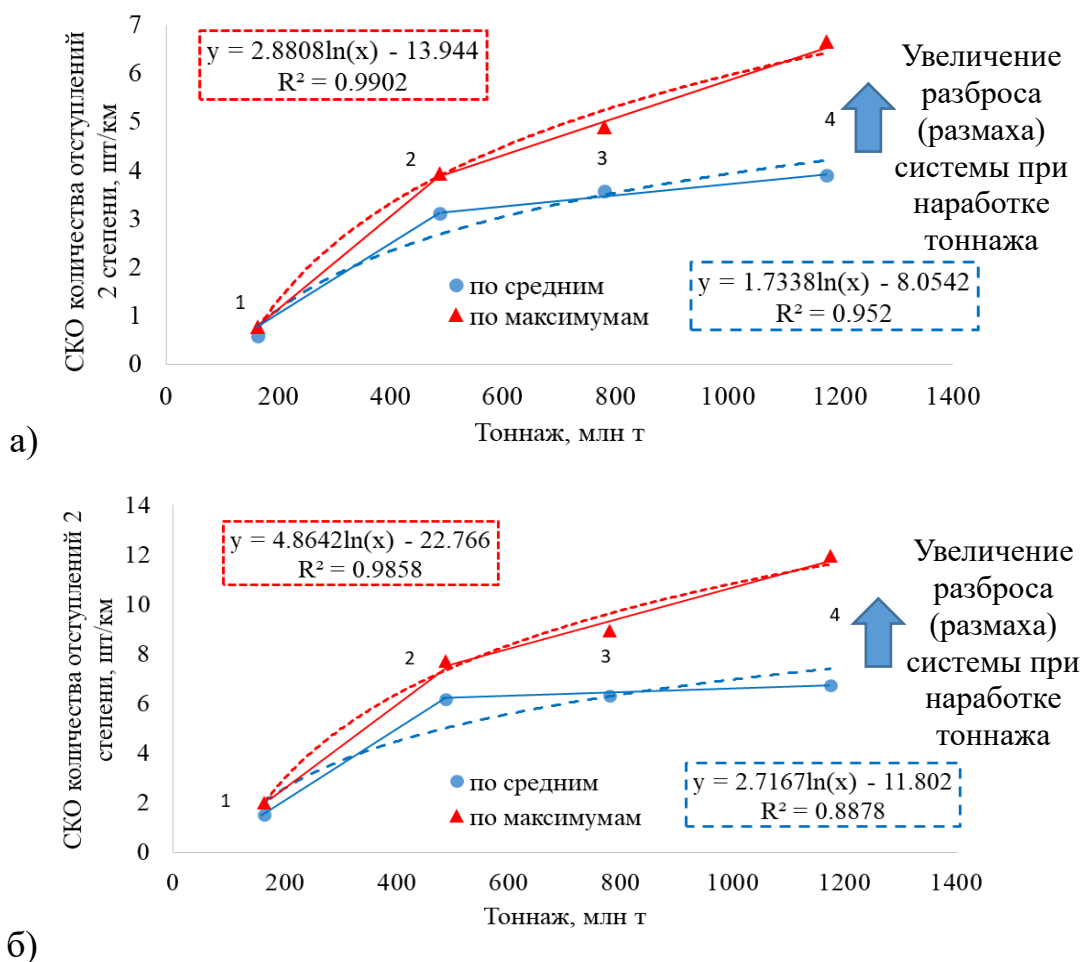


Рисунок 2.10 - Зависимости СКО среднегодового количества отступлений II степени при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов ДИ ГОРЬК: а) по показателю $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ б) по показателю $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ (условные обозначения аналогичны рисунку 2.9)

Анализ рисунка 2.10 показал, что величина среднеквадратического отклонения количества отступлений II степени при наработке тоннажа с высокой степенью достоверности, характеризуемой коэффициентом детерминации R^2 в диапазоне 0,88-0,99, описывается логарифмическими функциями плавно возрастающего характера.

Отдельно следует отметить, что анализ полученных логарифмических функций показал, что процесс роста величины СКО состоит из двух стадий: на первой стадии при переходе из периода стабилизации в период стабильной работы пути (из т.1 в т.2 на рис. 2.10) интенсивность роста показателя значительно выше, чем на второй стадии (из т.2 в т.4 на рис. 2.10) – при дальнейшей наработке тоннажа. Для подтверждения этого вывода, процесс роста величины СКО был аппроксимирован линейными функциями, характеризующими интенсивность роста показателя при наработке тоннажа – рисунок 2.10 (сплошные линии) на каждом этапе жизненного цикла пути.

Для оценки интенсивности прироста показателя были рассчитаны угловые коэффициенты полученных линейных функций.

В таблице 2.10 приведены уравнения и угловые коэффициенты линейных функций изменения показателя $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ количества отступлений II степени в различных этапах жизненного цикла пути.

Таблица 2.10 - Характеристики линейных функций изменения величины СКО количества отступлений II степени $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$, шт./км, на различных этапах жизненного цикла пути

Интервалы между этапами жизненного цикла пути	Уравнение линейной функции	Угловой коэффициент функции, α шт./млн т бр.
по средним		
1-2	$N_{1-2} = 0,0078T - 0,709$	0,0078
2-4	$N_{2-4} = 0,0011T + 2,6059$	0,0011
по максимумам		
1-2	$N_{1-2} = 0,0098T - 0,8122$	0,0098
2-4	$N_{2-4} = 0,004T + 1,9237$	0,0040

Анализ таблицы 2.10 показал, что максимальная интенсивность прироста величины среднеквадратического отклонения $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ наблюдается при переходе из стадии стабилизации к стадии стабильной работы пути (стадии 1-2) – по средним значениям до 0,0078 шт./млн т бр., по максимумам – до 0,0098 шт./млн т бр. При дальнейшей наработке тоннажа интенсивность снижается в 2-7 раз: до 0,0011 шт./млн т бр. по средним и до 0,004 шт./млн т бр. по максимумам.

В таблице 2.11 приведены уравнения и угловые коэффициенты линейных функций изменения показателя $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ количества отступлений II степени в различных этапах жизненного цикла пути.

Таблица 2.11 - Характеристики линейных функций изменения величины СКО количества отступлений II степени $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$, шт./км, на различных этапах жизненного цикла пути

Интервалы между этапами жизненного цикла пути	Уравнение линейной функции	Угловой коэффициент функции, α шт./млн т бр.
по средним		
1-2	$N_{1-2} = 0,0143T - 0,8165$	0,0143
2-4	$N_{2-4} = 0,0009T + 5,7099$	0,0009
по максимумам		
1-2	$N_{1-2} = 0,0176T - 0,8702$	0,0176
2-4	$N_{2-4} = 0,0063T + 4,41$	0,0063

Анализ таблицы 2.11 показал, что максимальная интенсивность прироста среднеквадратического отклонения $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ наблюдается при переходе из стадии стабилизации к стадии стабильной работы пути (стадии 1-2) – по средним значениям до 0,0143 шт./млн т бр., по максимумам – до 0,0176 шт./млн т бр. При дальнейшей наработке тоннажа интенсивность снижается более чем в 3 раза: до 0,0009 шт./млн т бр. по средним и до 0,0063 шт./млн т бр. по максимумам.

Результаты проведенного анализа показали, что несмотря на снижение средней величины количества отступлений на участках с наработкой тоннажа более 850 млн т бр. за счет своевременно проведенного промежуточного ремонта

РС/РП и последующей выправки в отдельных местах, на этих участках существует опасность возможного резкого ухудшения состояния пути.

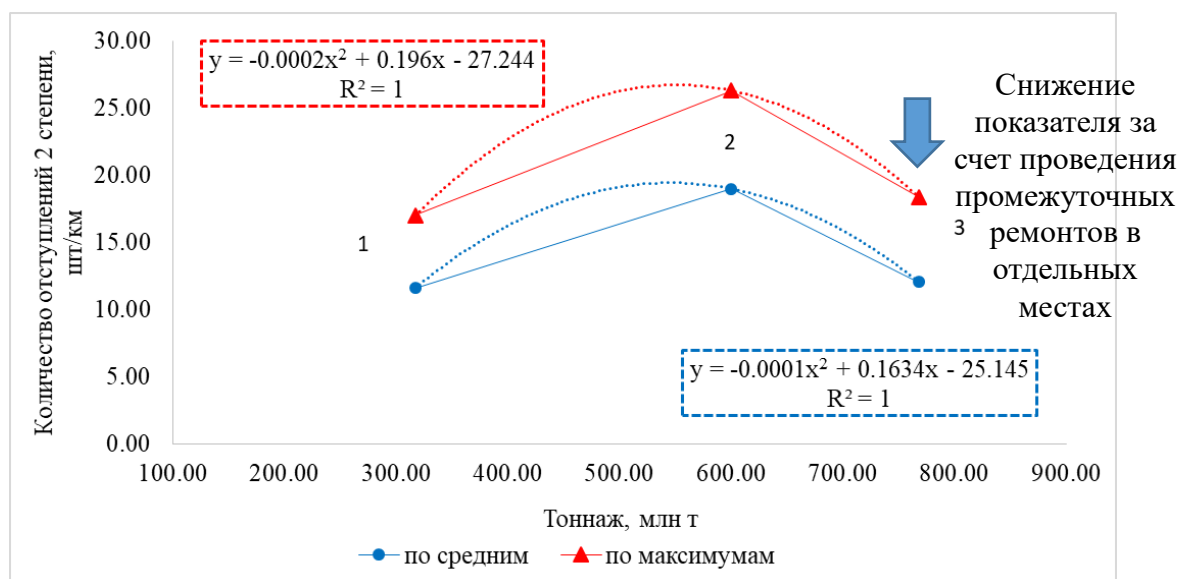
В виду возможного непредсказуемого ухудшения состояния пути на участках с высокой степенью изменчивости статистических характеристик по длине и во времени, такие участки следует рассматривать в первую очередь при планировании работ.

2.4.2 Оценка стабильности пути на перегонах Южно-Уральской дирекции инфраструктуры

Рассмотрим опытные участки на Южно-Уральской дирекции инфраструктуры (ДИ Ю-УР). Для анализа рассматривались участки Аносово-Кисегач, Кисегач-Шершни на 1 грузовом пути. На данных участках пропущенный тоннаж составил от 57,0 (на участках после капитального ремонта) до 785,2 млн т бр. (на участках, где капитальный ремонт не проводился).

Для определения интенсивности прироста вышеприведенных показателей стабильности при переходе из стадии стабилизации (путь после капитального ремонта) до стадии интенсивного роста расстройств (путь с наработкой более 700 млн т бр.) были получены зависимости, характеризующие динамику изменения показателей стабильности по длине и во времени в различных диапазонах сгруппированной выборки при нарастающем пропущенном тоннаже – рисунок 2.11.

Как показано на рисунке 2.11, изменение средней величины количества отступлений при наработке тоннажа описывается полиномиальными функциями 2го порядка возрастающего и затем убывающего характера. При этом, темп прироста количества отступлений по мере роста тоннажа можно охарактеризовать линейными функциями следующего вида – таблица 2.12, а численно оценить прирост показателя – по величине наклона функции, т.е. по ее угловому коэффициенту.



- - - - - полиномиальные функции, характеризующие общую динамику изменения статистического показателя
- - - - - полиномиальные функции, характеризующие общую динамику изменения статистического показателя
— — — — — линейные функции, характеризующие динамику изменения статистического показателя по этапам жизненного цикла пути
— — — — — линейные функции, характеризующие динамику изменения статистического показателя по этапам жизненного цикла пути

Рисунок 2.11 - Зависимости среднегодового количества отступлений II степени ($M_L^{t(T)}$) при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов ДИ Ю-УР

Таблица 2.12 - Характеристики линейных функций изменения среднегодового количества отступлений II степени $M_L^{t(T)}$, шт./км, на различных этапах жизненного цикла пути

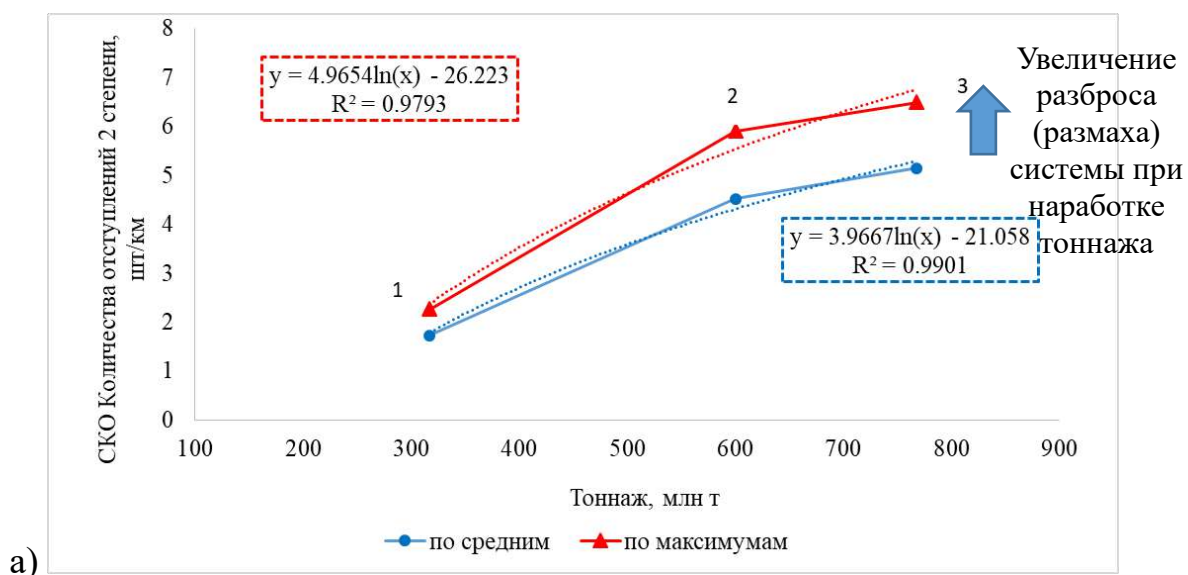
Интервалы между этапами жизненного цикла пути	Уравнение линейной функции	Угловой коэффициент функции, α шт./млн т бр.
по средним		
1-2	$N_{1-2} = 0,0261T + 3,321$	0,0261
2-3	$N_{2-3} = -0,0413T + 43,81$	-0,0413
по максимумам		
1-2	$N_{1-2} = 0,0329T + 6,5703$	0,0329
2-3	$N_{2-3} = -0,0472T + 54,668$	-0,0472

Как следует из полученных данных, интенсивность прироста величины среднегодового количества отступлений, характеризуемая углом наклона линейной функции относительно горизонтальной оси, на различных этапах жизненного цикла пути неравномерна. Так, наибольший прирост функции наблюдается по максимальным значениям - $\alpha = 0,0329$ шт./млн т бр. при наработке

до 700 млн т бр., а при дальнейшей наработке тоннажа функция убывает на величину угла $\alpha = -0,0472$ шт./млн т бр. (т.2 – т.3 на рисунке 2.11), что объясняется проведенными промежуточными ремонтами пути в отдельных местах. Таким образом, состояние пути по мере наработки тоннажа на каждой стадии жизненного цикла пути изменяется неравномерно и в большей степени зависит от своевременности и объемов работ по выправке пути и промежуточных ремонтов.

Для оценки изменения величины разброса системы во времени (при эксплуатации) по показателю среднеквадратического отклонения количества отступлений аналогично были получены зависимости изменения средней и максимальной величины среднеквадратического отклонения ($\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ и $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$) в различных диапазонах сгруппированной выборки при различном нарастающем пропущенном тоннаже – рисунки 2.12 а,б.

Как видно на графиках 2.12 а,б, величина среднеквадратического отклонения количества отступлений II степени при наработке тоннажа с высокой степенью достоверности, характеризуемой коэффициентом детерминации R^2 в диапазоне 0,98-0,99, описывается логарифмическими или линейными функциями возрастающего характера.



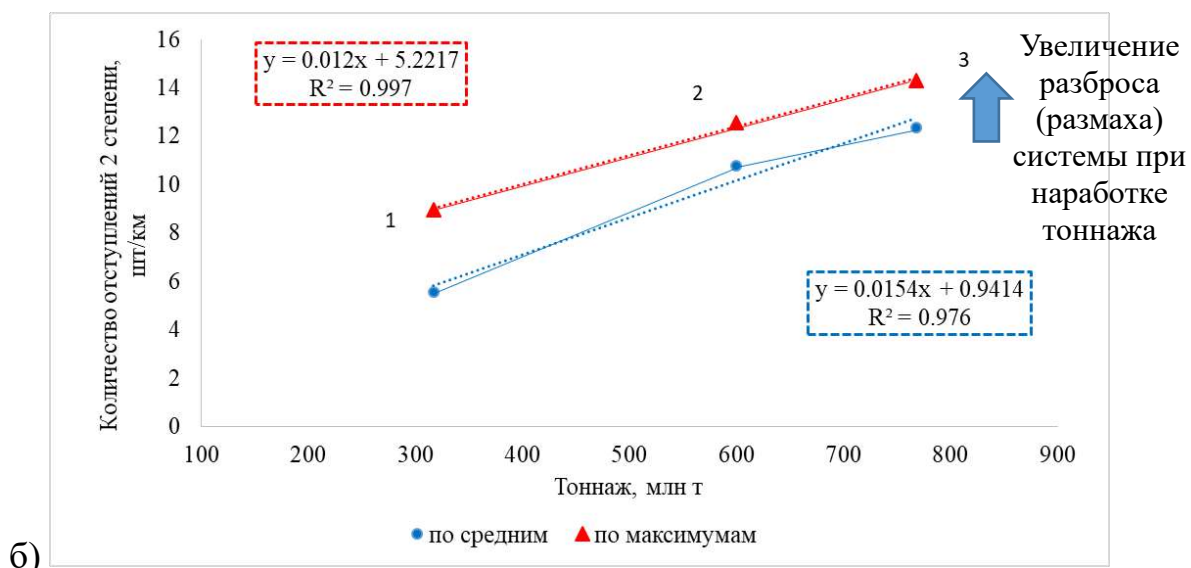


Рисунок 2.12 - Зависимости СКО среднегодового количества отступлений II степени при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов ДИ Ю-УР: а) по показателю $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ б) по показателю $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ (условные обозначения аналогичны рисунку 2.11)

Для оценки интенсивности прироста показателя стабильности $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ были рассчитаны угловые коэффициенты линейных функций на различных стадиях жизненного цикла пути – таблица 2.13.

Таблица 2.13 - Характеристики линейных функций изменения величины СКО количества отступлений II степени $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$, шт./км, на различных этапах жизненного цикла пути

Интервалы между этапами жизненного цикла пути	Уравнение линейной функции	Угловой коэффициент функции, α шт./млн т бр.
по средним		
1-2	$N_{1-2} = 0,0099T - 1,3952$	0,0099
2-3	$N_{2-3} = 0,0038T + 2,2687$	0,0038
по максимумам		
1-2	$N_{1-2} = 0,00129T - 1,8073$	0,00129
2-3	$N_{2-3} = 0,0035T + 3,8016$	0,0035

Анализ таблицы 2.13 показал, что наибольшая интенсивность прироста величины среднеквадратического отклонения $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ наблюдается по максимальным значениям сгруппированной выборки и составляет до 0,0099 шт./млн т бр.

В таблице 2.14 приведены уравнения и угловые коэффициенты линейных функций изменения показателя $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ количества отступлений II степени на различных этапах жизненного цикла пути.

Таблица 2.14 - Характеристики линейных функций изменения величины СКО количества отступлений II степени $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$, шт./км, на различных этапах жизненного цикла пути

Интервалы между этапами жизненного цикла пути	Уравнение линейной функции	Угловой коэффициент функции, α шт./млн т бр.
по средним		
1-2	$N_{1-2} = 0,0184T - 0,2599$	0,0184
2-3	$N_{2-3} = 0,0093T + 5,2123$	0,0093
по максимумам		
1-3	$N_{1-3} = 0,012T + 5,2217$	0,012

Анализ таблицы 2.14 показал, что по максимумам интенсивность увеличения показателя среднеквадратического отклонения $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ может быть описана линейной функцией с величиной угла наклона 0,012 шт./млн т бр., а по средним – линейными функциями с наибольшей величиной угла наклона 0,0184 шт./млн т бр.

Результаты проведенного анализа показали, что несмотря на снижение среднегодового количества отступлений II степени на участках с пропущенным тоннажом более 700 млн т бр. за счет проведения выправочных работ в отдельных местах, разброс значений статистической выборки по показателям $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ и $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ при наработке тоннажа, наоборот, увеличивается.

Это указывает на снижение стабильности пути при наработке тоннажа более 700 млн т бр.

2.4.3 Оценка стабильности пути на перегонах Северной дирекции инфраструктуры

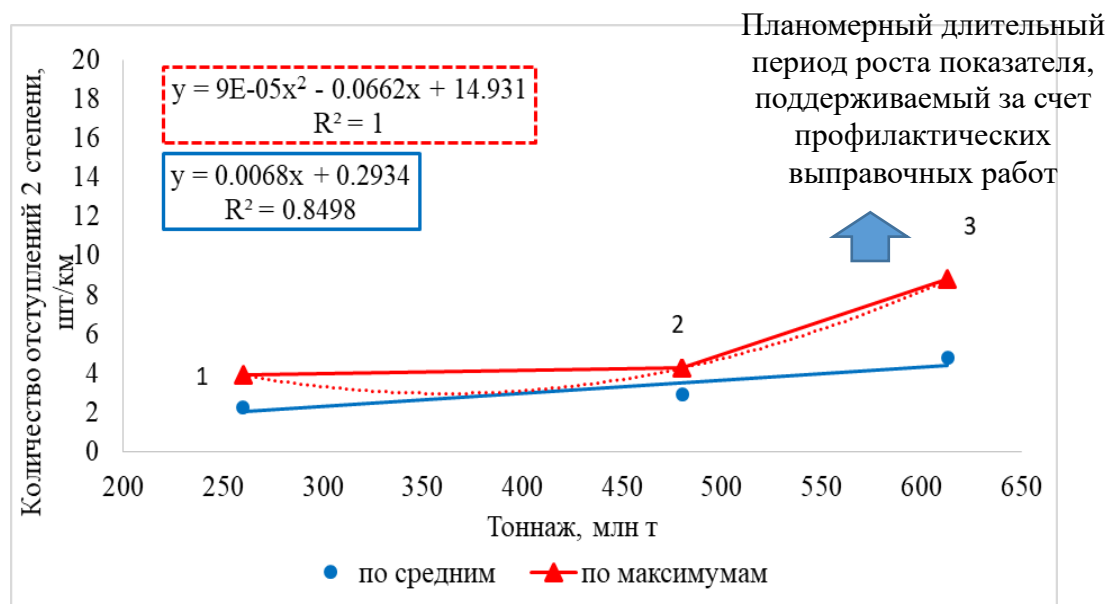
Рассмотрим опытные участки в границах Северной дирекции инфраструктуры (ДИ СЕВ). Для анализа были отобраны перегоны на 1 грузовом пути Шарьинской дистанции пути.

На дистанции порядка 25% составляют перегоны, эксплуатирующиеся после недавно проведенного капитального ремонта (тоннаж менее 350 млн т бр.) и более 65% составляют перегоны со средней наработкой тоннажа 350- 700 млн т бр., поэтому для анализа диапазон пропущенного тоннажа 350- 700 млн т бр. был разделен на 2 поддиапазона:

350 – 550 млн т бр. и 550-710 млн т бр.

Для определения интенсивности изменения показателей стабильности пути при переходе из стадии стабилизации (путь после капитального ремонта) до стадии интенсивного роста расстройств (путь с наработкой до 700 млн т бр.) были получены зависимости, характеризующие изменение средней и максимальной величины количества отступлений II степени по длине и во времени на опытных участках в сгруппированной выборке при различном нарастающем пропущенном тоннаже – рисунок 2.13.

Как следует из рисунка 2.13, характер изменения функций на стадиях жизненного цикла пути различен. Так, по средним значениям выборки изменение исследуемого параметра может быть описано линейной функцией возрастающего характера с величиной коэффициента детерминации $R^2 = 0,8498$, а по максимумам – полиномиальной зависимостью возрастающего характера. Как следует из рисунка, на участках Северной дирекции инфраструктуры процесс изменения состояния пути можно охарактеризовать как планомерный длительный процесс ухудшения состояния пути в ходе эксплуатации, поддерживаемый за счет профилактических выправочных работ.



- полиномиальная функции, характеризующая общую динамику изменения статистического показателя
- ==== линейные функции, характеризующие динамику изменения статистического показателя по этапам жизненного цикла пути

Рисунок 2.13 - Зависимости среднегодового количества отступлений II степени ($M_L^{t(T)}$) при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов ДИ СЕВ

Изменение состояния пути по стадиям жизненного цикла можно охарактеризовать линейными функциями с различными угловыми коэффициентами – таблица 2.15.

Таблица 2.15 - Характеристики линейных функций изменения среднегодового количества отступлений II степени $M_L^{t(T)}$, шт./км, на различных этапах жизненного цикла пути

Интервалы между этапами жизненного цикла пути	Уравнение линейной функции	Угловой коэффициент функции, α шт./млн т бр.
по средним		
1-2	$N_{1-2} = 0,0068T + 0,2934$	0,0068
по максимумам		
1-1'	$N_{1-1'} = 0,0016T + 3,4945$	0,0016
1'-2	$N_{1'-2} = 0,0340T - 12,033$	0,0340

Как следует из полученных данных, наибольший прирост функции наблюдается по максимальным значениям на стадии перехода к интенсивному росту расстройств (т.е. до наработки 700 млн т бр.) - $\alpha = 0,0340$ шт./млн т бр.

Для оценки изменения величины линейного разброса системы во времени (при эксплуатации) по показателю среднеквадратического отклонения количества отступлений аналогично были получены зависимости изменения средней и максимальной величины среднеквадратического отклонения ($\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ и $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$) в различных диапазонах сгруппированной выборки при различном нарастающем пропущенном тоннаже – рисунки 2.14а,б.

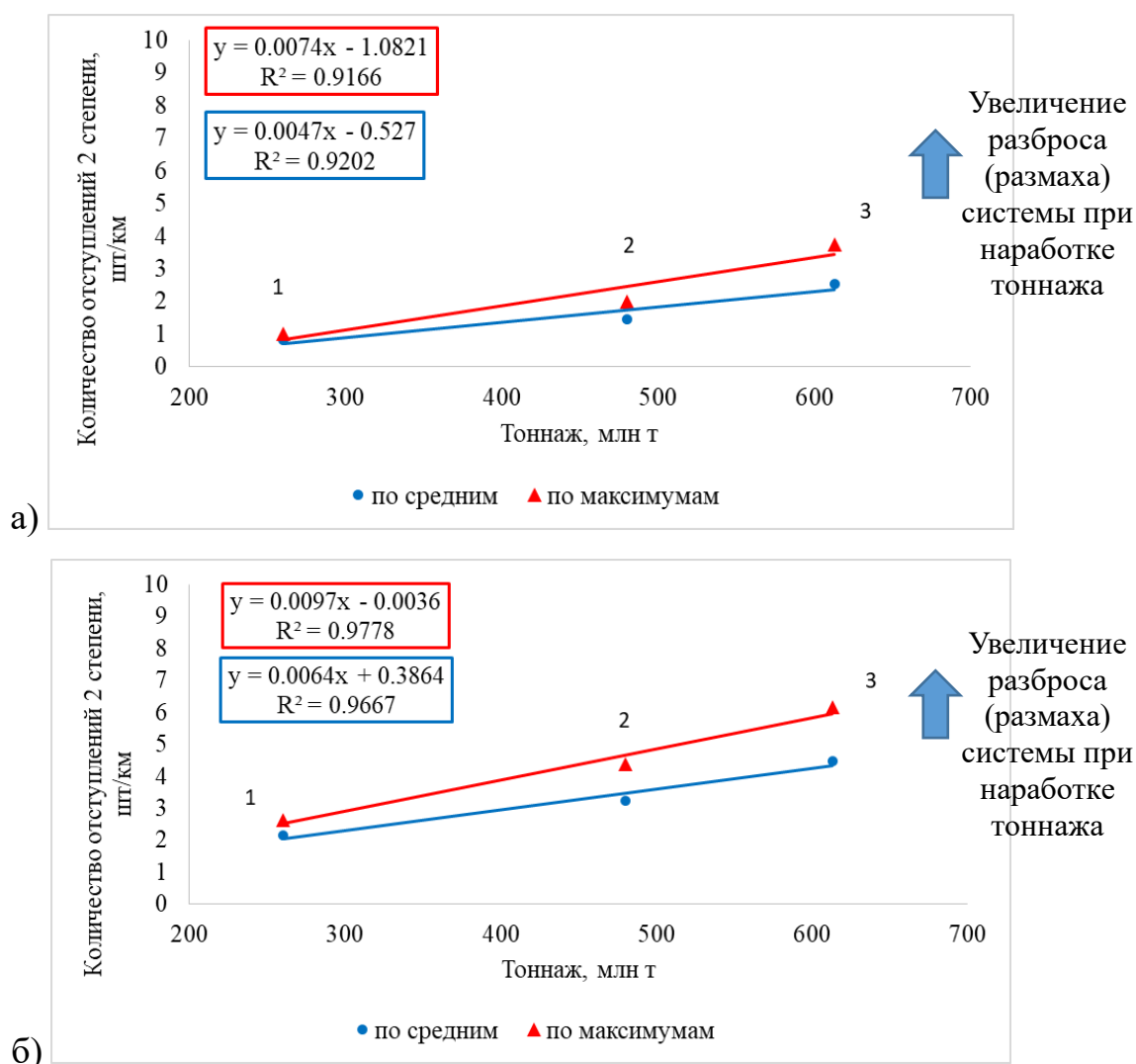


Рисунок 2.14 - Зависимости СКО среднегодового количества отступлений II степени при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов ДИ СЕВ: а) по показателю $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ б) по показателю $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ (условные обозначения аналогичны рисунку 2.16)

Как видно на графиках 2.14 а,б, величина среднеквадратического отклонения количества отступлений II степени при наработке тоннажа с высокой степенью достоверности, характеризуемой коэффициентом детерминации R^2 в диапазоне 0,92-0,98, описывается линейными функциями возрастающего характера.

Для оценки интенсивности прироста показателя были рассчитаны угловые коэффициенты полученных линейных функций.

В таблице 2.16 приведены уравнения и угловые коэффициенты линейных функций изменения показателя $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ количества отступлений II степени в различных этапах жизненного цикла пути.

Таблица 2.16 - Характеристики линейных функций изменения величины СКО количества отступлений II степени $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$, шт./км, на различных этапах жизненного цикла пути

Интервалы между этапами жизненного цикла пути	Уравнение линейной функции	Угловой коэффициент функции, α шт./млн т бр.
по средним		
1-3	$N_{1-3} = 0,0047T - 0,527$	0,0047
по максимумам		
1-3	$N_{1-3} = 0,0074T - 1,0821$	0,0074

Анализ таблицы 2.16 показал, что наибольшая интенсивность увеличения показателя среднеквадратического отклонения $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ наблюдается по максимальным значениям статистической выборки и составляет до 0,0074 шт./млн т бр.

В таблице 2.17 приведены уравнения и угловые коэффициенты линейных функций изменения показателя $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ количества отступлений II степени в различных этапах жизненного цикла пути.

Таблица 2.17 - Характеристики линейных функций изменения величины СКО количества отступлений II степени $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$, шт./км, на различных этапах жизненного цикла пути

Интервалы между этапами жизненного цикла пути	Уравнение линейной функции	Угловой коэффициент функции, α шт./млн т бр.
по средним		
1-3	$N_{1-3} = 0,0064T + 0,3864$	0,0064
по максимумам		
1-3	$N_{1-3} = 0,0097T - 0,0036$	0,0097

Анализ таблицы 2.17 показал, что по максимумам интенсивность увеличения показателя среднеквадратического отклонения $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ может быть описана линейной функцией с величиной угла наклона 0,0097 шт./млн т бр., а по средним – линейной функцией с величиной угла наклона 0,0064 шт./млн т бр.

Результаты проведенного исследования по оценке стабильности участков пути по длине и во времени на грузовом ходу Северной дирекции инфраструктуры показали, что ухудшение состояния пути наблюдается при пропуске тоннажа близкого к 700 млн т бр.

На участках Северной дирекции инфраструктуры стабильность пути выше, чем на Горьковской и Южно-Уральской, что обусловлено своевременно проводимыми выправочными работами и отсутствием участков со сложным планом и профилем.

2.4.4 Выводы по оценке стабильности состояния пути

В условиях интенсификации перевозочного процесса и увеличения силовой нагруженности пути, стандартный анализ по оценке статистических характеристик состояния пути (по средним значениям и СКО выборки количества отступлений по геометрии рельсовой колеи) в работе предлагается дополнить оценкой стабильности участков пути (отрезков пути) одновременно по длине и во времени.

Результаты проведенного исследования по оценке стабильности геометрии рельсовой колеи по длине и во времени (тоннажу) на участках грузового хода Горьковской, Южно-Уральской и Северной дирекций инфраструктуры показал:

1. процесс изменения показателей стабильности пути по длине и во времени при наработке тоннажа не является равномерным и в общем виде описывается:

- по средней величине исследуемого параметра, распределенного по длине участка пути, во времени - $M_L^{t(T)}$ – полиномиальными функциями 2 порядка возрастающего и затем убывающего характера, за счет проведения промежуточных ремонтов РС/РП и последующих выправочных работ (Горьковская и Южно-Уральская дирекции инфраструктуры);

- по показателям линейного размаха (разброса) системы во времени (в процессе эксплуатации) - $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$, $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ – логарифмическими (в отдельных случаях – линейными) функциями возрастающего характера;

2. темп прироста исследуемого показателя по мере роста тоннажа, характеризуемый углом наклона линейной функции относительно горизонтальной оси, на различных этапах жизненного цикла пути неравномерен и определяется сроками и своевременностью проведенных работ по техническому обслуживанию пути и промежуточных ремонтов;

3. на участках с большим пропущенным тоннажом в отдельных случаях наблюдается тенденция к снижению величины среднегодового количества отступлений геометрии рельсовой колеи ($M_L^{t(T)}$), что может быть обусловлено выполнением промежуточных ремонтов пути, предусмотренных ремонтными схемами (до наработки 1400 млн т бр. в [6] для особогрузонапряженных линий);

4. максимальные значения показателей изменчивости статистической выборки по длине и во времени $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$, $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ были выявлены на участках, пропустивших наибольший тоннаж. Это указывает на то, что несмотря на снижение величины среднегодового количества отступлений геометрии рельсовой колеи ($M_L^{t(T)}$) на таких участках существует опасность возможного резкого

ухудшения состояния пути, что требует дополнительного контроля за состоянием пути в том числе за счет корректировки схемы организации работ;

5. в условиях сложного плана и профиля (на участках Южно-Уральской дирекции инфраструктуры уклоны профиля до 12‰) путь менее стабилен, что говорит о том, что такие участки следует рассматривать в первую очередь при планировании выправочных работ. На участках Горьковской и Северной дирекций инфраструктуры уклоны профиля менее 10‰, поэтому ухудшение состояния пути наблюдается при пропуске тоннажа близкого к 700 млн т бр.;

6. полученные результаты доказывают влияние условий эксплуатации и системы организации технического обслуживания пути на стабильность геометрии рельсовой колеи при наработке тоннажа.

2.5 Анализ состояния пути и качества его содержания на примере опытных участков

В настоящее время состояние геометрии рельсовой колеи в вертикальной и горизонтальной плоскостях, согласно нормативной документации [113], оценивается по амплитудным характеристикам отдельных неровностей и балловой оценки, характеризующей степени отдельных отступлений и приоритет в проведении работ по их устранению (плановый порядок, первоочередной и неотложный).

При этом оценка качества содержания пути, определяемая количеством отступлений и темпом их накопления, используется только в качестве критерия при планировании выправочных работ.

Для определения взаимосвязи между состоянием пути по амплитудным характеристикам отдельных отступлений и качеством содержания пути по накоплению отступлений по геометрии рельсовой колеи, в работе был проведен анализ по определению соотношения километров с отступлениями III и неисправностями IV степеней, требующих ограничения скоростей, на участках с различной суммой отступлений II степени по геометрии рельсовой колеи.

Для анализа рассматривались участки 1 грузового пути Горьковской дирекции инфраструктуры (Киров-Екатеринбург) и Южно-Уральской дирекции инфраструктуры (Самара-Челябинск), т.к. на этих участках по данным проходов путеизмерителей в 2019 году были выявлены километры с различным состоянием пути в широком диапазоне:

на участках Горьковской дирекции инфраструктуры количество отступлений II степени составило до 71 шт./км, III степени – до 14 шт./км, IV степени – до 3 шт./км;

на участках Южно-Уральской дирекции инфраструктуры – отступлений II степени - до 74 шт./км, отступлений III степени – до 7 шт./км, IV степени – до 4 шт./км.

Для проведения анализа на участках Горьковской дирекции инфраструктуры были отобраны 215 километров на 1 грузовом пути (станционные пути из анализа исключались).

Анализ проводился по данным о состоянии пути, полученным по результатам проходов вагонов путеизмерителей ежемесячно в 2019 году.

Таким образом, объем статистической выборки для проведения анализа составил: $215\text{км} * 12 \text{ месяцев} = 2580 \text{ точек}$.

На первом этапе выборка была сгруппирована на 5 диапазонов по количеству выявленных отступлений II степени:

- от 0 до 10 шт./км – 1690 километров;
- от 10 до 20 шт./км – 553 километра;
- от 20 до 30 шт./км – 219 километров;
- от 30 до 40 шт./км – 65 километров;
- 40 и более шт./км – 53 километра.

Диаграмма распределения километров по количеству выявленных отступлений II степени приведена на рисунке 2.15.

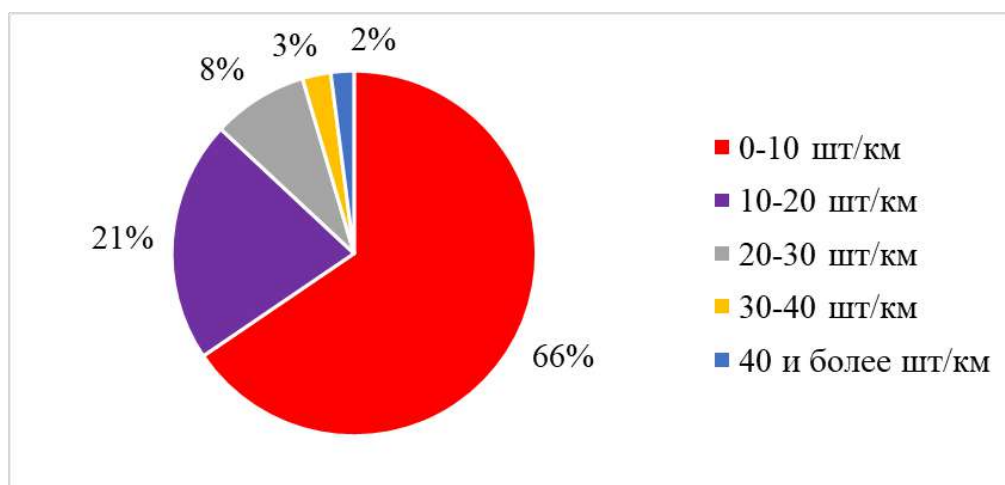


Рисунок 2.15 – Диаграмма распределения километров по количеству выявленных отступлений II степени по геометрии рельсовой колеи за 2019 год на участках ДИ ГОРЬК

Как следует из диаграммы, около 66% километров на опытных участках имеют «отличное» состояние пути (количество отступлений на них менее 10 шт./км), и около 5% составляют километры с количеством отступлений 30-40 и 40 и более шт./км.

На участках Южно-Уральской дирекции инфраструктуры объем статистической выборки для проведения анализа составил:

$$134\text{км} * 12 \text{ месяцев} = 1608 \text{ точек.}$$

Выборка группировалась на 6 диапазонов по количеству отступлений II степени на километре:

- от 0 до 10 шт./км – 832 километра;
- от 10 до 20 шт./км – 391 километр;
- от 20 до 30 шт./км – 186 километров;
- от 30 до 40 шт./км – 98 километров;
- от 40 до 50 шт./км – 64 километра;
- более 50 шт./км – 37 километров.

Диаграмма распределения километров по количеству отступлений II степени представлена на рисунке 2.16.

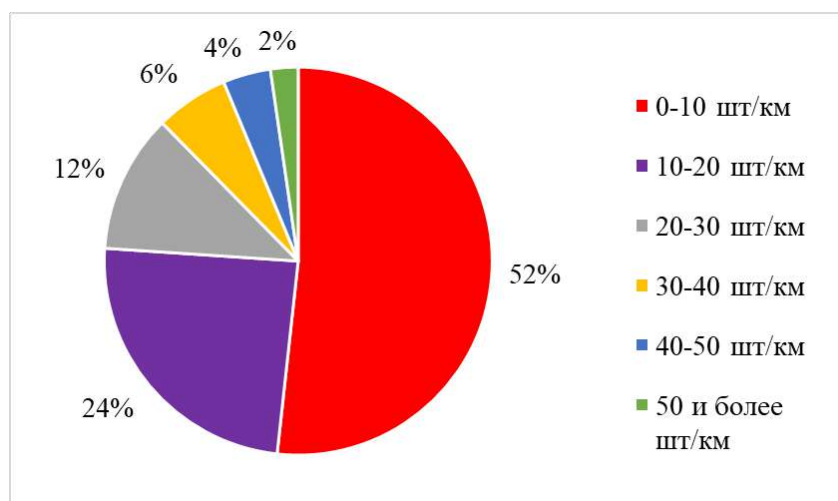


Рисунок 2.16 - Диаграмма распределения километров по количеству выявленных отступлений II степени по геометрии рельсовой колеи за 2019 год на участках ДИ Ю-УР

Как следует из полученной диаграммы, на 52% километрах в 2019 году было выявлено менее 10 шт. отступлений II степени, что указывает на «отличное» состояние пути на этих километрах, а на 12% километров было выявлено от 30 и более отступлений II степени.

В каждом диапазоне на рассматриваемых участках определялся процент километров, на которых в том числе были выявлены отдельные отступления III и неисправности IV степеней.

Результаты проведенного анализа для участков ДИ ГОРЬК приведены на рисунке 2.17, а для участков ДИ Ю-УР – на рисунке 2.18.

Как следует из рисунка 2.17, наибольший процент появления отступлений III и неисправностей IV степени на участках ДИ ГОРЬК наблюдается на километрах с количеством отступлений II степени в диапазонах 30-40 и 40 и более шт./км.

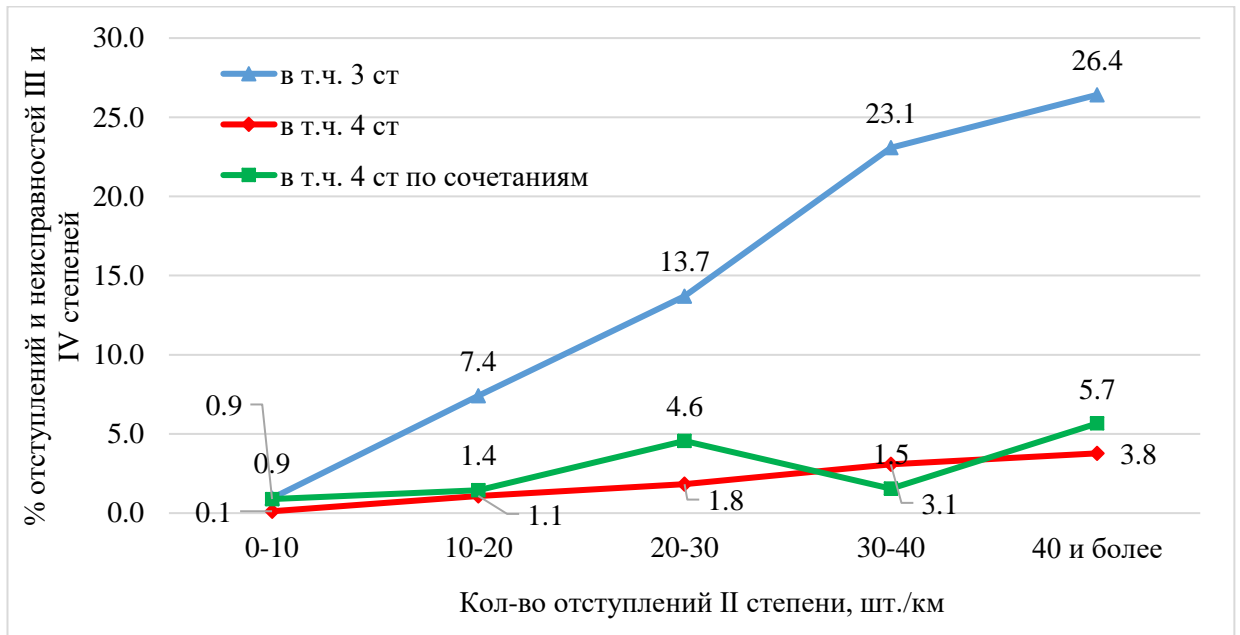


Рисунок 2.17 – Процентное соотношение появления отступлений III и неисправностей IV степени в различных диапазонах километров с отступлениями II степени на участках ДИ ГОРЬК

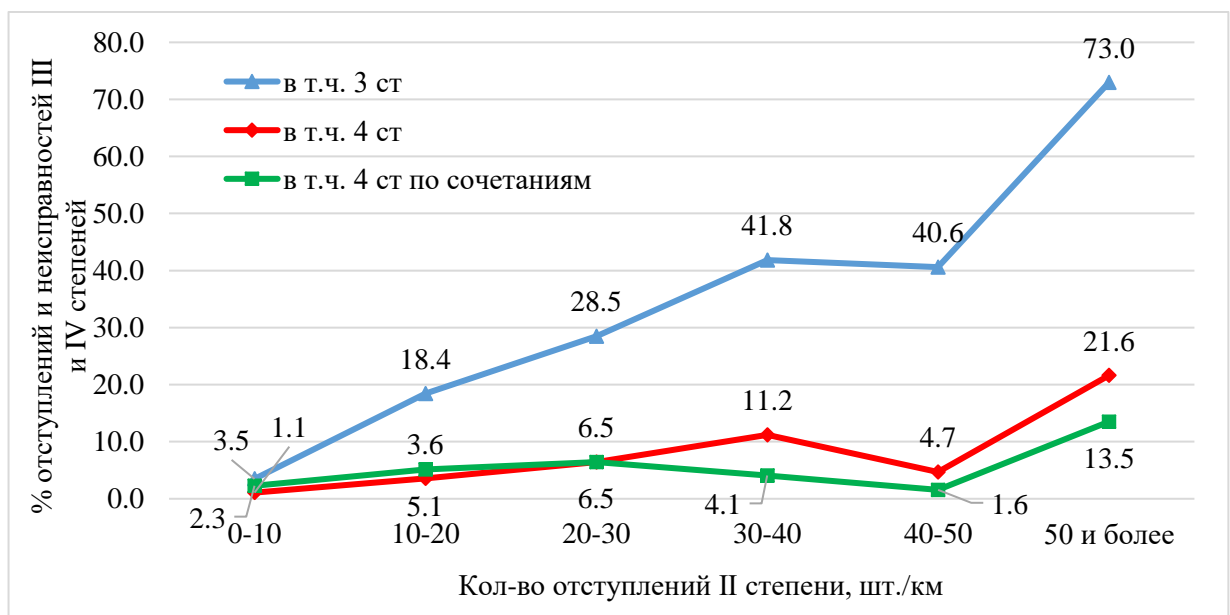


Рисунок 2.18 – Процентное соотношение появления отступлений III и неисправностей IV степени в различных диапазонах километров с отступлениями II степени на участках ДИ Ю-УР

Как следует из рисунка 2.18, наибольший процент появления отдельных отступлений III и неисправностей IV степени на участках ДИ Ю-УР наблюдается на километрах с количеством отступлений II степени в диапазонах 30-40, 40-50 и 50 и более шт./км (III ст. – 73%; IV ст. – 21,6%; IV ст. по сочетаниям – 13,5%).

Проведенный анализ появления отдельных отступлений и неисправностей, по амплитуде требующих ограничения скоростей движения поездов, на участках грузового хода показал, что при увеличении на участке суммарного количества отступлений II степени (более 30 шт./км) возрастает и частота появления отдельных отступлений и неисправностей, по амплитуде требующих ограничения скоростей движения поездов.

Одним из способов снижения частоты появления отдельных отступлений и неисправностей, угрожающих безопасности движения, может быть проведение профилактической выправки пути по устранению отступлений II степени.

Выводы по главе 2

1. Проведенные исследования показали, что в системе организации технического обслуживания пути для принятия управленческих решений необходимо учитывать, что железнодорожный путь – изменяющаяся (деградирующая и восстанавливаемая за счет проведения работ) система, что для оценки закономерностей ее изменения требует применения нестандартных подходов.

В основу этих подходов может быть положена система статистической обработки информации о состоянии геометрии рельсовой колеи, позволяющая устанавливать количественные характеристики геометрии рельсовой колеи в различных условиях эксплуатации.

2. Разработанный порядок совершенствования системы организации и планирования выправочных работ для линий с высокой грузонапряженностью (специализации «О», «Г») включает следующие положения:

– Для определения потребности в работах на коротких фронтах, ввиду неравномерного распределения отступлений и неисправностей по длине участка, необходимо дополнить систему оценки состояния пути показателем плотности распределения отступлений по коэффициенту вариации $C_{vL} = \frac{\sigma_L}{M_L}$, с учетом вероятностной составляющей появления отдельных отступлений (теория выбросов случайных процессов). Распределение можно считать однородным, если значения коэффициента вариации менее 0,33;

– Потребность в работах на среднесрочный период на фронтах средней протяженности должна определяться по прогнозу состояния пути, основанному на закономерностях накопления расстройств пути во времени (по тоннажу), характеризуемых показателями $M^{t(T)}$ (среднее количество отступлений на участке в динамике, шт./км) и $\sigma^{t(T)}$ (среднеквадратическое отклонение отступлений на участке в динамике, шт./км) с учетом стадии жизненного цикла пути и схемы организации работ по техническому обслуживанию пути;

– Потребность в работах по оздоровлению целых перегонов должна определяться по количественным и качественным сравнительным оценкам стабильности пути на перегонах по синтезу параметров, одновременно распределенных по длине и во времени:

- $M_L^{t(T)}$ – показатель, характеризующий среднее значение исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L ;
- $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ - показатель, характеризующий изменчивость (разброс) значений исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L ;
- $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ – показатель, характеризующий среднее значение изменчивости (средний разброс) значений исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L ;

3. Результаты проведенного исследования на примерах опытных участков особогрузонапряженных линий подтверждают влияние условий эксплуатации и системы организации технического обслуживания пути на появление и развитие расстройств пути на различных стадиях его жизненного цикла;

4. Одним из способов снижения частоты появления отступлений и неисправностей, угрожающих безопасности движения, может быть проведение профилактической выправки пути.

Глава 3. Статистический анализ интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в различных условиях эксплуатации

Очередность проведения выправочных работ определяется комплексом отступлений на участке пути заданной длины и их изменчивостью во времени (при наработке тоннажа).

Если отступления II степени не являются угрожающими безопасности движения и устраняются в плановом порядке, то в пути наряду с ними могут возникать опасные отступления III степени и неисправности IV степени, требующие ограничения скорости. Такие отступления устраняются в оперативном порядке.

Настоящая глава исследования посвящена выявлению основных закономерностей интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в различных условиях эксплуатации на сети, как основного критерия при определении потребности в работах оперативного характера. Полученные закономерности также составляют основу при уточнении необходимых сроков проверки состояния пути путеизмерительными средствами.

В рамках исследования был проведен сетевой эксперимент по определению интенсивности роста амплитуд неровностей в различных условиях эксплуатации (список участков анализа приведен в приложении Б). Анализ проводился с использованием информации о состоянии пути с последовательных проходов путеизмерителей за двухлетний период 2019- 2020 гг.

Участки дифференцировались по диапазонам грузонапряженности и классов путей, согласно таблице 3.1 в [6] (для линий «особогрузонапряженных» и «грузовых»).

По данным, предоставленным ОАО «РЖД», протяженность путей на сети для линий специализаций «особогрузонапряженная» и «грузовая» по принятым в нормативах [6] диапазонам грузонапряженности:

- Более 140 до 200 млн ткм бр./км в год

- более 80 до 140 млн ткм бр./км в год
- более 50 до 80 млн ткм бр./км в год
- более 25 до 50 млн ткм бр./км в год
- более 10 до 25 млн ткм бр./км в год
- более 5 до 10 млн ткм бр./км в год
- 5 и менее млн ткм бр./км в год,

и скоростям движения:

- 121-140 км/ч
- 101-120 км/ч
- 61-100 км/ч
- до 60 км/ч, распределяется следующим образом – рисунки 3.1-3.2.

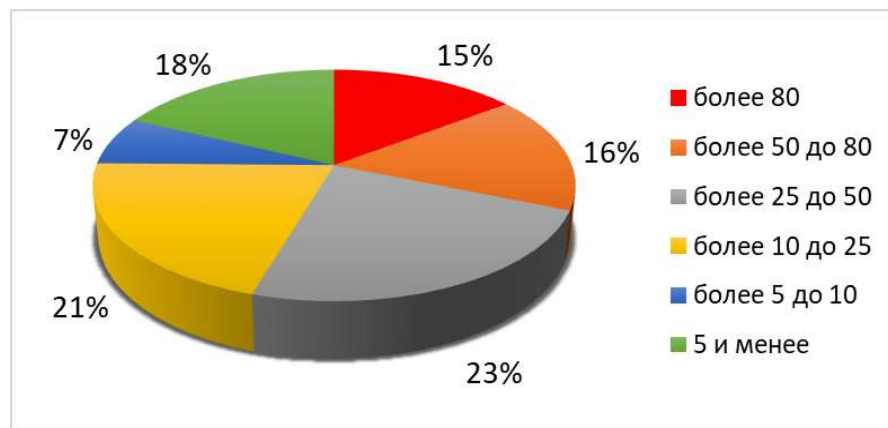


Рисунок 3.1 – Распределение протяженности путей по диапазонам грузонапряженности на сети ОАО «РЖД» в 2020 г

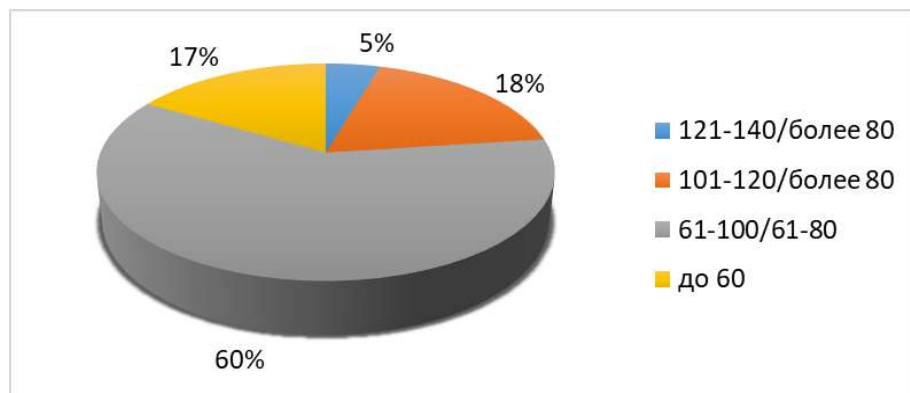


Рисунок 3.2 – Распределение протяженности путей по диапазонам скоростей движения на сети ОАО «РЖД» в 2020 г

Как следует из представленных диаграмм, линии специализации особогрузонапряженная (более 80 млн ткм бр./км в год) на сети составляют 15%, а наиболее распространены линии с грузонапряженностью 25-50 (23%) и 10- 25 (21%) млн ткм бр./км в год.

По скоростям основной массив участков находится в диапазоне скоростей 61-100/61-80 (пассажирские/грузовые), который составляет 60% на сети.

Расчет удельного количества отступлений по амплитуде соответствующих III и IV степени (требующих ограничения скоростей движения) на сети в 2021 году показал, что несмотря на то, что участки специализации «особогрузонапряженные» составляют всего 15% от протяженности сети, наибольшее количество возникающих расстройств пути приходится именно на таких участках – рисунки 3.3а,б.

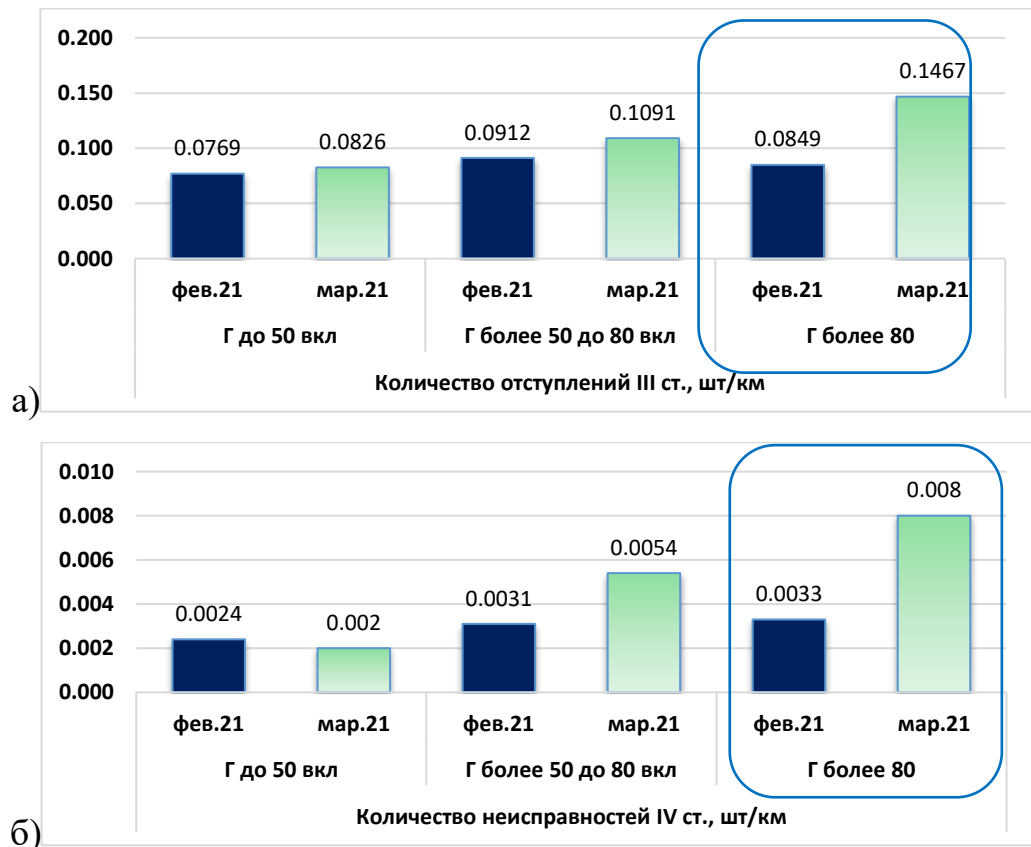


Рисунок 3.3 – Удельное количество:
 а) отступлений III степени
 б) неисправностей IV степени
 в феврале и марте 2021 года на сети железных дорог
 (Г – грузонапряженность, млн ткм бр./км в год)

Статистический анализ распределения отступлений геометрии рельсовой колеи II степени по типам на сети в 2019 и 2023 годах показал, что отступления в вертикальной плоскости составляют более 60-70% - рисунок 3.4.

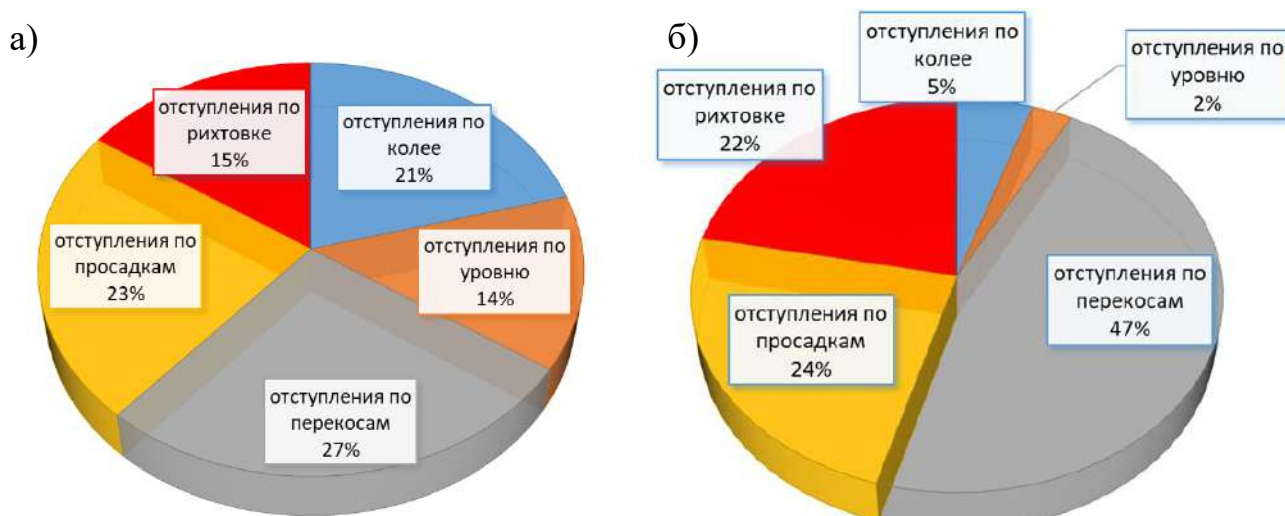


Рисунок 3.4 – Распределение отступлений II степени по типам на сети
а) в 2019 году б) в 2023 году

В связи с вышеизложенным, в работе было принято решение для определения закономерностей изменения интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в условиях сети рассматривать интенсивность роста амплитуд просадок (т.к. перекосы и уровень являются разновидностями просадок по разным рельсовым нитям), а дополнительно на отдельных участках особогрузонапряженных линий – интенсивность роста неровностей в плане (рихтовка).

3.1 Закономерности изменения интенсивности роста амплитуд неровностей в вертикальной плоскости (просадок) в условиях сети железных дорог

С точки зрения безопасности движения наиболее актуален максимальный прирост величин просадок в различных условиях эксплуатации.

Для определения этих величин был проведен статистический анализ темпа максимального прироста амплитуд просадок за период между двумя проверками

путеизмерителей до достижения величин прироста просадок, соответствующих IV степени неисправностей [103].

Массив данных о состоянии пути с участков, общей протяженностью более 5 тыс. км – приложение Б (за двухлетний период наблюдений более 500 точек статистической выборки), группировался по диапазонам грузонапряженности и классов путей, согласно таблице 3.1 в [6] (для «особогрузонапряженных» и «грузовых» линий).

По результатам проведенного исследования были установлены зависимости темпа прироста амплитуд просадок от грузонапряженности – рисунок 3.5. Точками на рисунке показаны средние значения сгруппированной выборки в различных диапазонах грузонапряженности.

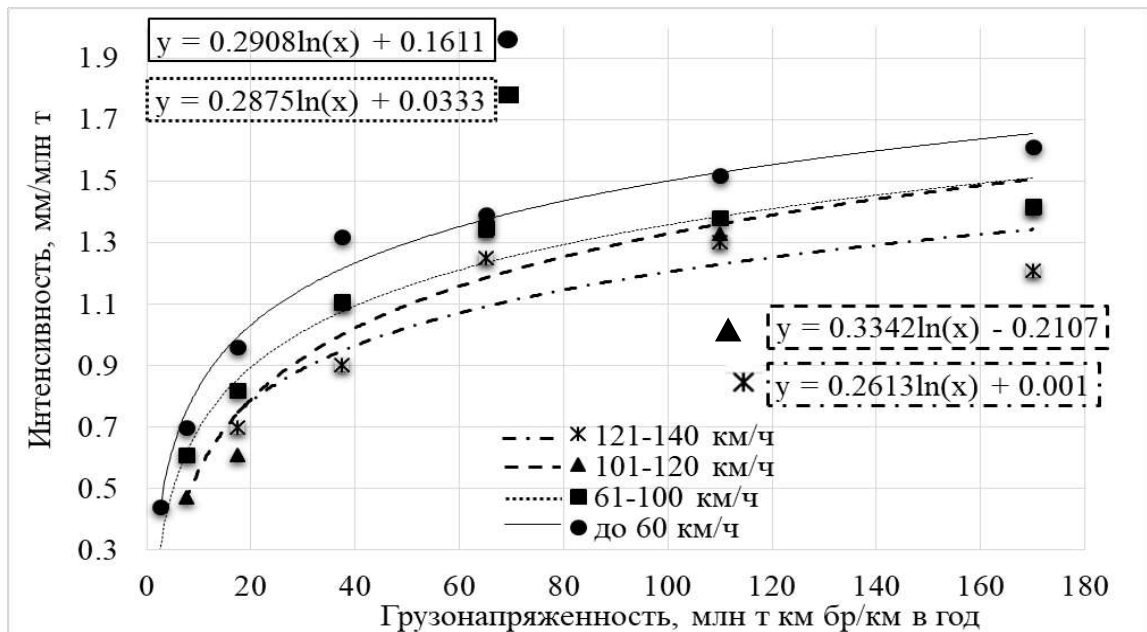


Рисунок 3.5 – Темп максимального прироста амплитуд просадок (мм/млн т бр.) в зависимости от грузонапряженности по средним значениям сгруппированной выборки в различных диапазонах грузонапряженности и скоростей движения поездов

Анализ интенсивности (мм/млн т бр.) роста амплитуд просадок в условиях сети по ансамблю данных с участков, сгруппированных по грузонапряженности и скоростям движения, показал, что интенсивность роста амплитуд просадок при увеличении грузонапряженности возрастает по логарифмическим зависимостям.

Это объясняется влиянием силовой нагруженности пути (на участках с высокой грузонапряженностью обращаются тяжеловесные поезда в том числе с вагонами с повышенной осевой нагрузкой) на интенсивность роста расстройств.

При увеличении скоростей движения, наоборот, интенсивность прироста амплитуд просадок снижается. Это объясняется отсутствием на таких участках тяжеловесных поездов, однако с точки зрения безопасности движения, такие участки требуют более жестких требований по содержанию пути.

Так, в наиболее приближенном к фактическим скоростям движения на сети, диапазоне скоростей движения 61-100/61-80 км/ч (пассажирские/грузовые, соответственно) максимальная интенсивность роста амплитуд просадок при грузонапряженности 140-200 млн ткм бр./км в год составила в среднем 1,42 мм/млн т бр., а при скорости 121-140 км/ч интенсивность в среднем составила 1,21 мм/млн т бр.

Аналогично по грузонапряженности – в диапазоне 140- 200 млн ткм бр./км в год при скоростях 61-100/61-80 км/ч, интенсивность роста просадок составила в среднем 1,42 мм/млн т бр., а при грузонапряженности 5 и менее млн ткм бр./км в год – 0,28 мм/млн т бр., что ниже почти в 4 раза.

Проведенный анализ показал, что:

на участках пути, где величины просадок достигают IV степени, состояние пути не обеспечивает безопасность движения. Поэтому, при появлении на участке отступлений III степени, стандартный анализ амплитуд просадок должен быть дополнен анализом темпа их прироста.

при достижении значений темпа прироста амплитуд просадок, приближающихся к величинам, приведенным в таблице 3.1, должны назначаться неотложные работы по ликвидации расстройств пути, выявленных на этих участках.

Таблица 3.1 - Темп максимального прироста амплитуд просадок за период между двумя проверками путеизмерителей до достижения величин прироста просадок, соответствующих IV степени неисправностей, мм/млн т бр.

Группа железнодорожного пути		Грузонапряженность, млн.ткм бр./км в год	Интенсивность прироста амплитуд просадок, мм/млн т бр.*			
			Допускаемые скорости движения, км/ч (числитель – пассажирские, знаменатель – грузовые)			
Группа ж.д.пути (специализация)	Код группы		$\frac{121-140}{>80}$	$\frac{101-120}{>80}$	$\frac{61-100}{61-80}$	до 60
Особогрузонапряженная	I	Более 200	$\frac{1}{-}$	$\frac{1}{-}$	$\frac{1}{-}$	$\frac{1}{-}$
	II	Более 140 до 200	$\frac{1}{1,21}$	$\frac{1}{1,41}$	$\frac{1}{1,42}$	$\frac{1}{1,61}$
	III	более 80 до 140	$\frac{1}{1,30}$	$\frac{1}{1,33}$	$\frac{1}{1,38}$	$\frac{2}{1,52}$
Грузовая	I	более 50 до 80	$\frac{1}{1,25}$	$\frac{1}{1,34}$	$\frac{1}{1,35}$	$\frac{2}{1,39}$
	II	более 25 до 50	$\frac{1}{0,90}$	$\frac{1}{1,10}$	$\frac{2}{1,11}$	$\frac{3}{1,32}$
	III	более 10 до 25	$\frac{1}{0,70}$	$\frac{2}{0,61}$	$\frac{3}{0,82}$	$\frac{3}{0,96}$
	IV	более 5 до 10	$\frac{2}{-}$	$\frac{3}{0,47}$	$\frac{3}{0,61}$	$\frac{4}{0,70}$
	V	5 и менее	$\frac{3}{-}$	$\frac{4}{0,30}$	$\frac{4}{0,28}$	$\frac{4}{0,44}$

*числитель – класс пути, знаменатель - интенсивность прироста амплитуд просадок, мм/млн т бр.

3.2 Сравнительный анализ интенсивности роста амплитуд неровностей в вертикальной и горизонтальной плоскостях на особогрузонапряженных линиях

Дополнительный анализ интенсивности роста неровностей в плане (рихтовка) проводился для участков особогрузонапряженных линий (с грузонапряженностью более 140 млн ткм бр./км в год).

Для анализа участки были сгруппированы по диапазонам допускаемых скоростей движения, в соответствии с нормативной документацией [6]:

- 101-120 км/ч
- 61-100 км/ч
- до 60 км/ч.

В каждом диапазоне определялась максимальная интенсивность роста амплитуд неровностей в плане до достижения IV степени, требующей ограничения скорости, в двух диапазонах длин: до 20 м и 20-40 м, в соответствии с Инструкцией по оценке состояния пути [106] в части оценки величин отступлений в плане. Для сравнения интенсивность роста амплитуд неровностей в вертикальной плоскости (просадок) принималась по результатам анализа, представленного в разделе 3.1.

Объем статистической выборки по неровностям в плане составил 90 точек, по неровностям в профиле – 189 точек.

По результатам обработки данных, было установлено, что наибольший рост отступлений в плане наблюдается в диапазоне длин менее 20 м и на участках с допускаемыми скоростями до 60 км/ч – таблица 3.2.

Таблица 3.2 – Максимальный темп прироста амплитуд отступлений в плане до величин, соответствующих IV степени неисправностей, на участках с грузонапряженностью более 140 млн ткм бр./км в год

Допускаемые скорости движения, км/ч	Максимальная интенсивность роста амплитуд неровностей в плане (мм/млн т бр.) при длине:	
	до 20 м	20-40 м
101-120	0,94	0,82
61-100	1,13	0,94
до 60	1,31	1,05

С использованием полученных данных были построены сравнительные диаграммы изменения максимальной интенсивности роста амплитуд неровностей в плане и профиле при различных скоростях движения при постоянной грузонапряженности более 140 млн ткм бр./км в год – рисунок 3.6.

Как показали результаты проведенного анализа, при высоких скоростях движения за счет ужесточения допусков на содержание рельсовой колеи, а также с учетом отсутствия кривых малых радиусов, что объясняется требованиями к проектированию скоростных участков, интенсивность роста неровностей в плане ниже.

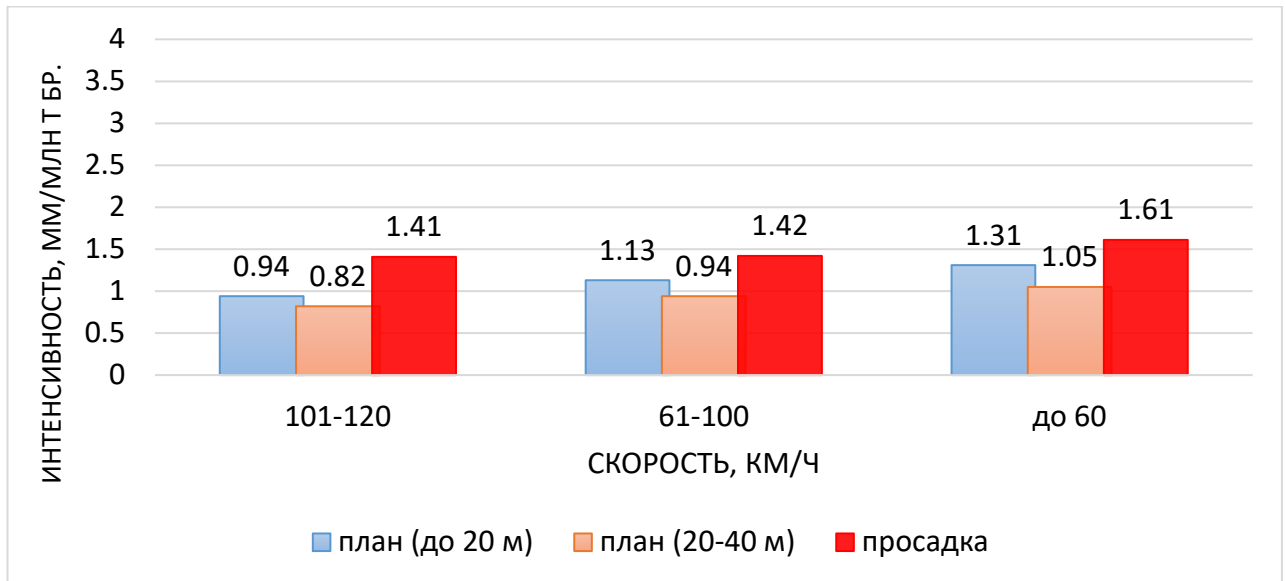


Рисунок 3.6 – Средняя интенсивность роста амплитуд неровностей в плане и профиле по ансамблю данных с участков с грузонапряженностью более 140 млн ткм бр./км в год

Также следует отметить, что в среднем неровности в плане длиной до 20 м растут быстрее на 20-30%, чем неровности длиной 20-40 м.

В сравнении интенсивности роста амплитуд неровностей в вертикальной плоскости (просадок) и в плане (рихтовка) согласно полученным данным, интенсивность роста просадок выше в 1,2-1,7 раз, чем интенсивность роста неровностей в плане.

Таким образом, участки с высокой грузонапряженностью требуют дополнительного контроля за состоянием пути в том числе за счет корректировки схемы технического обслуживания пути т.к. на таких участках существует опасность непредсказуемого ухудшения состояния пути.

Для оценки влияния параметров устройства пути на интенсивность роста амплитуд отдельных отступлений, в следующих разделах работы проведен анализ влияния плана пути на интенсивность роста амплитуд неровностей в плане и профиля пути на интенсивность роста амплитуд неровностей в профиле.

3.3 Влияние параметров устройства пути в профиле на интенсивность роста неровностей на особогрузонапряженных линиях

Результаты проведенного выше анализа влияния грузонапряженности и скоростей движения на интенсивность роста амплитуд отдельных неровностей в вертикальной плоскости (просадок) в условиях сети, показали высокую степень влияния силовой нагруженности пути (на особогрузонапряженных линиях обращаются тяжеловесные поезда, вагоны с повышенной осевой нагрузкой, с высокой плотностью поездопотока) на рост расстройств.

Однако, уровень силовой нагруженности пути определяется также параметрами устройства пути в плане и профиле.

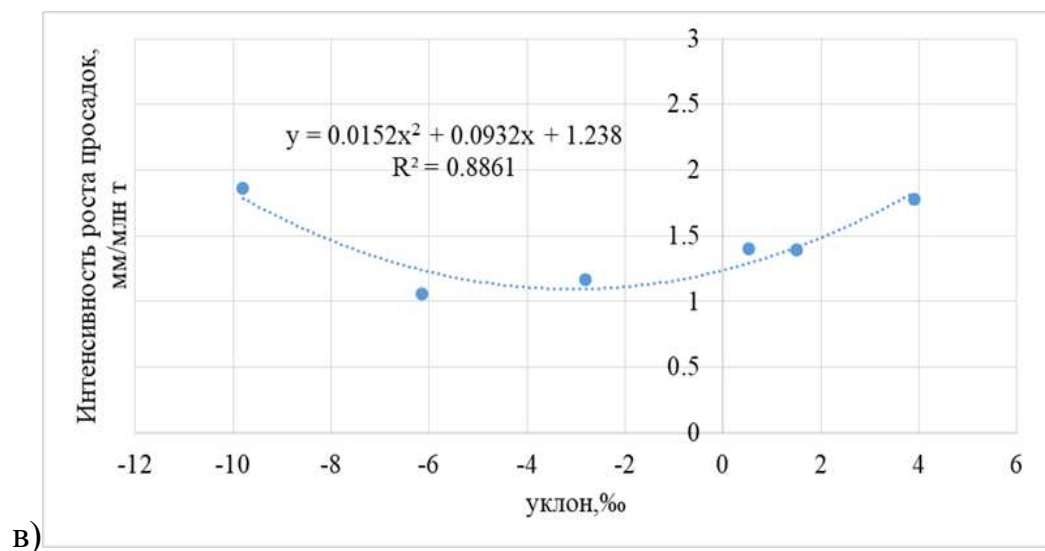
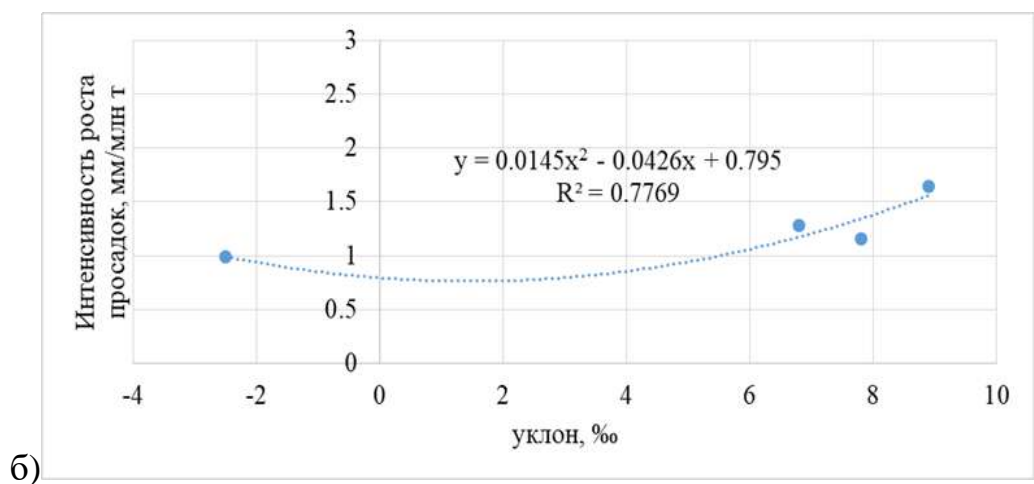
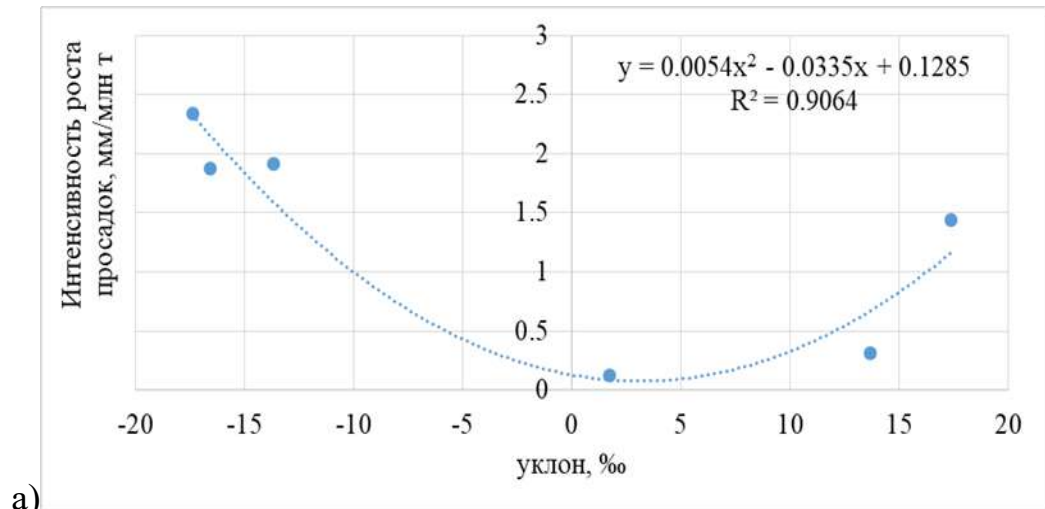
Для получения детальных оценок по влиянию параметров устройства пути на интенсивность роста амплитуд неровностей в вертикальной плоскости (просадок), были отобраны участки особогрузонапряженных линий (с грузонапряженностью более 140 млн ткм бр./км в год), т.к. на этих участках отмечена наибольшая скорость роста неровностей и высок риск внезапного появления неисправностей, угрожающих безопасности движения.

Рассматривались участки, расположенные в границах следующих дирекций инфраструктуры с различным планом, профилем и состоянием пути:

- ДИ Восточно-Сибирской (горно-перевальный участок Большой-Луг-Байкальск), с уклонами от -17,4 до +17,4‰ (2 путь с грузонапряженностью 175,8 млн ткм бр./км в год);
- ДИ Свердловской, с уклонами от -4,1 до +9,1‰ (1 путь с грузонапряженностью 144,3 млн ткм бр./км в год)
- ДИ Забайкальской, с уклонами от -11,0 до +5,7‰ (2 путь с грузонапряженностью 141,9 млн ткм бр./км в год)
- ДИ Октябрьской, с уклонами от +1,6 до +5,4‰ (1 путь с грузонапряженностью 171,6 млн ткм бр./км в год),

Участки подбирались в прямых в пределах перегонов (станционные пути не учитывались). Полученные по результатам анализа зависимости строились с

использованием группировки данных об интенсивности роста амплитуд просадок по диапазонам уклонов профиля. Графические диаграммы результатов исследования приведены на рисунках 3.7 а-г.



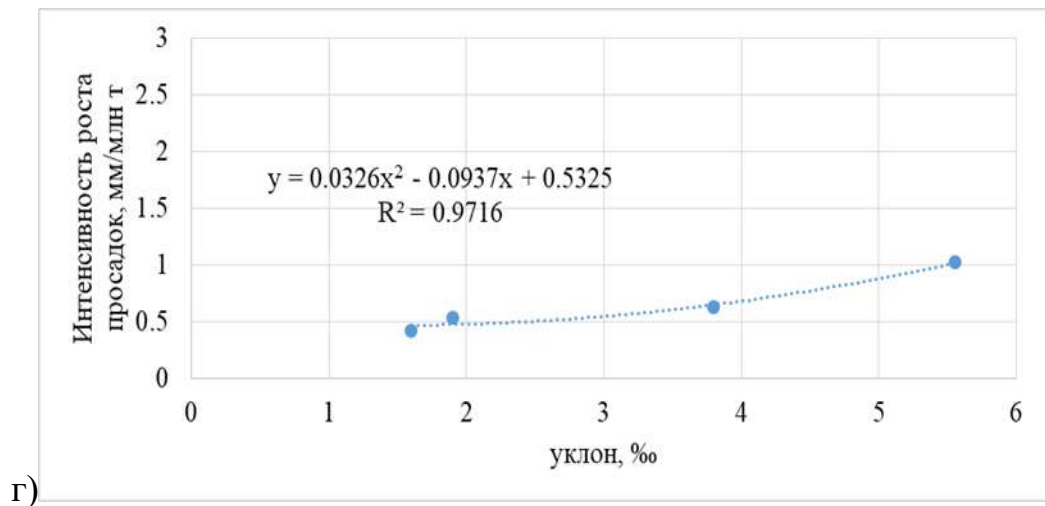


Рисунок 3.7 – Зависимости изменения интенсивности роста амплитуд просадок от уклона профиля на участках: а) ДИ Восточно-Сибирская б) ДИ Свердловская в) ДИ Забайкальская г) ДИ Октябрьская

Как показали результаты проведенного анализа, полученные зависимости могут быть описаны полиномиальными функциями 2-го порядка с коэффициентом детерминации 0,78-0,97, что указывает на высокую тесноту связи между рассматриваемыми параметрами.

Наибольшая интенсивность роста просадок была выявлена на спусках (уклон более -10 ‰) в условиях горно-перевального участка ДИ Восточно-Сибирской – до 2,34 мм/млн т бр. по средним значениям, и на спусках (уклон более -8‰) в условиях ДИ Забайкальской – до 1,86 мм/млн т бр. – это участки особогрузонапряженных линий с грузонапряженностью до 185 млн ткм бр./км в год.

На подъемах наибольшая интенсивность роста амплитуд просадок составила: в условиях горно-перевального участка ДИ Восточно-Сибирской (уклон более 10‰) – до 1,44 мм/млн т бр.; в условиях ДИ Забайкальской (уклон более 4‰) – до 1,78 мм/млн т бр., в условиях ДИ Свердловской (уклон более 8‰) – до 1,70 мм/млн т бр.

Наименьшая интенсивность отмечена на участках ДИ Октябрьской – до 1,02 мм/млн т бр. на участках подъемов (уклон до 5,4‰), что объясняется снижением доли обращения тяжеловесных поездов на участках скоростного движения, а также более жесткими требованиями на содержание пути по геометрии рельсовой колеи.

Таким образом, при определении потребности в работах по устранению отдельных отступлений и неисправностей необходимо учитывать местные условия эксплуатации конкретных участков.

3.4 Влияние параметров устройства пути в плане на интенсивность роста неровностей на особогрузонапряженных линиях

Для оценки влияния плана линии на интенсивность роста неровностей по рихтовке, из полученного массива данных были отобраны участки с кривыми различных радиусов, на которых были выявлены неровности в плане (рихтовка), по амплитуде соответствующие IV степени неисправностей.

Анализ проводился по данным проходов путеизмерителей на опытных участках при рабочем и контрольном проходе в октябре 2019 года. Тоннаж между двумя проходами на участках составил от 5,8 до 7,2 млн т бр.

Анализ проводился при следующих диапазонах значений – таблица 3.3.

Таблица 3.3 – Диапазоны выборки для проведения исследования

Длина неровностей в плане, м	Амплитуда неровностей в плане, мм		Радиусы кривых, м
	рабочий проход	контрольный проход	
19-32	18-38	25-44	400-1400

По результатам обработки полученной выборки с группировкой по диапазонам радиусов, были определены средние значения интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей по рихтовке до величин, соответствующих IV степени неисправностей, в каждом диапазоне сгруппированной выборки.

По результатам проведенного исследования была получена зависимость изменения средней величины интенсивности роста амплитуд неровностей в плане в зависимости от радиусов кривых – рисунок 3.8.

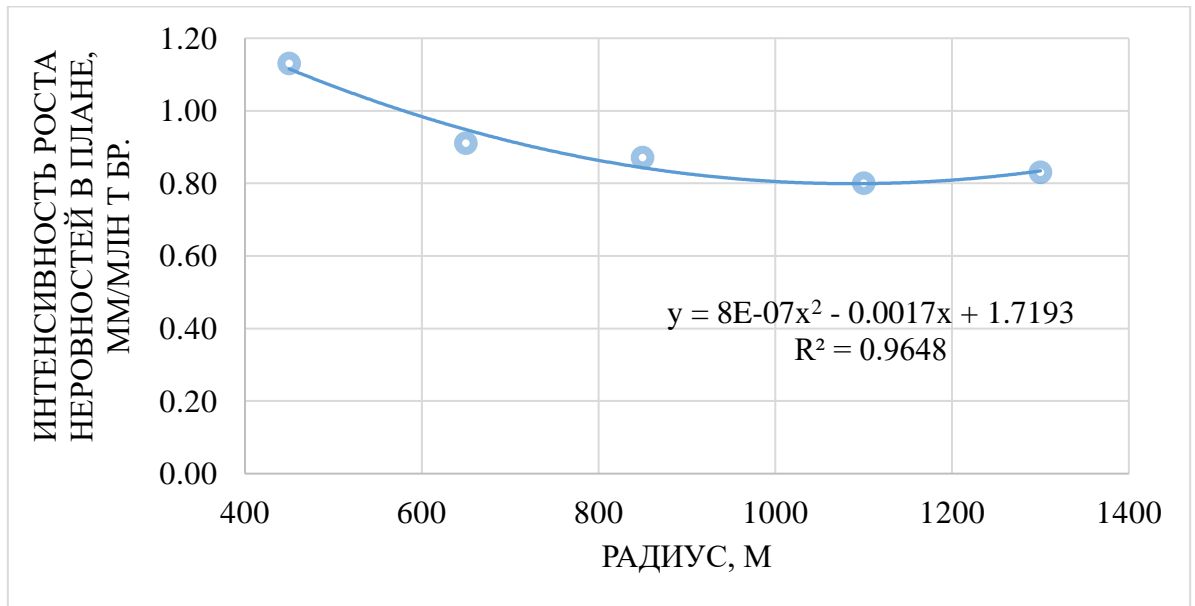


Рисунок 3.8 - Изменение средней интенсивности роста амплитуд неровностей в плане от радиуса кривой при скоростях движения 61-100/61-80 км/ч и грузонапряженности более 140 млн ткм бр./км в год

Полученные данные указывают на то, что интенсивность роста амплитуд неровностей в плане возрастает в кривых малого радиуса.

Необходимо отметить, что одна и та же величина неровности в плане составляет различный процент от основной стрелы изгиба в зависимости от радиуса кривой.

Таким образом возникает необходимость разработки специальных нормативов на содержание кривых участков пути в зависимости от радиуса кривой. С точки зрения оценки потребности в проведении выправочных работ, можно сделать вывод о том, что потребность в работах по устранению отдельных неровностей пути в плане на участках с кривыми малого радиуса будет выше, что хорошо коррелируется с результатами, полученными в ранее проведенных работах при участии автора [106-107].

Выводы по главе 3

Результаты проведенного сетевого эксперимента по определению интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в различных условиях эксплуатации, как основного критерия при определении потребности в работах оперативного характера и уточнения периодичности контроля состояния пути путеизмерительными средствами, позволили сформулировать следующие выводы:

1. Анализ максимальной интенсивности (мм/млн т бр.) роста амплитуд просядок до достижения величин, соответствующих IV степени неисправностей, по ансамблю данных с участков, сгруппированных по грузонапряженности и скоростям движения, показал, что интенсивность роста амплитуд просядок при увеличении грузонапряженности возрастает по логарифмическим зависимостям, что объясняется влиянием силовой нагруженности пути (на участках с высокой грузонапряженностью обращаются тяжеловесные поезда в том числе с вагонами с повышенной осевой нагрузкой) на интенсивность роста расстройств.

При увеличении скоростей движения, наоборот, интенсивность прироста амплитуд просядок снижается. Это объясняется отсутствием на таких участках тяжеловесных поездов, однако с точки зрения безопасности движения, такие участки требуют более жестких требований по содержанию пути.

2. Результаты дополнительно проведенного сравнительного анализа интенсивности роста амплитуд неровностей в профиле (просядки) и в плане (рихтовка) в условиях особогрузонапряженных линий (более 140 млн ткм бр./км в год) показали:

- максимальный темп прироста амплитуд просядок в среднем в 1,2-1,7 раз быстрее, чем темп роста амплитуд неровностей в плане;
- темп роста амплитуд неровностей в плане длиной до 20 м быстрее на 20- 30%, чем темп роста амплитуд неровностей длиной 20-40 м;
- интенсивность роста амплитуд просядок выше на участках с крутыми подъемами и спусками (уклон более 8‰);

– интенсивность роста амплитуд неровностей в плане выше в кривых малого радиуса.

Таким образом, при определении потребности в работах по устранению отдельных отступлений и неисправностей необходимо учитывать местные условия эксплуатации конкретных участков.

3. Увеличение интенсивности прироста амплитуд отдельных просадок на линиях специализации «О» и «ГІ» указывает на необходимость дополнительного контроля за состоянием пути на таких участках, в том числе за счет корректировки схемы организации работ.

Результаты проведенного сетевого эксперимента послужили основой при определении периодичности контроля состояния пути в условиях сети, основанной на недопущении неконтролируемого прироста амплитуд отдельных неровностей до достижения величин, требующих ограничения скоростей движения, в период между двумя проверками.

Глава 4. Совершенствование подходов в системе планирования выправочных работ

Усложнение условий эксплуатации и последующая интенсификация темпов накопления расстройств пути на сети отечественных железных дорог приводит к необходимости корректировки существующих подходов в системе планирования выправочных работ.

В 1945 году профессор Г.М. Шахунянц в брошюре «Задачи текущего содержания пути» [7] писал: «Основной задачей текущего содержания пути является предупреждение появления расстройств, а не их устранение, пусть даже и своевременное».

Таким образом, система определения потребности в выправочных работах на среднесрочный период должна быть направлена на профилактику выявления и устранения возникающих расстройств пути на базе прогноза изменения состояния пути.

В работах ряда авторов [64-66] для прогнозирования потребности в ремонтах использовалась методика прогноза по полиномам Лагранжа, разработанная д.т.н. Тихомировым В.И. в 70-х годах прошлого века [29]. Методика хорошо зарекомендовала себя при определении потребности выхода элементов верхнего строения пути при *неизменных* условиях эксплуатации.

В современных условиях необходим другой подход – потребность в выправочных работах должна определяться на базе прогноза состояния пути с учетом возможного *изменения* условий эксплуатации.

Это требует разработки алгоритмов, описывающих тенденции накопления отступлений по геометрии рельсовой колеи во времени (при наработке тоннажа) и прогнозе, на основании полученных корректируемых результатов, состояния пути с учетом различных сценариев организации технического обслуживания пути на конкретных участках при изменяющихся условиях эксплуатации.

В настоящее время в системе управления состоянием железнодорожного пути широко внедряются цифровые методы [76-77, 78, 80], основанные на моделировании процессов изменения состояния параметров конструкции рельсовой колеи и ее геометрии во времени и прогнозировании, на базе полученных моделей, изменения состояния пути в будущем.

С точки зрения оценки изменения состояния геометрии рельсовой колеи во времени и планирования на основании этой оценки выправочных работ, одним из недостатков цифровых методов является то, что их алгоритмы основаны на том, что свойства рассматриваемых моделей и законы их роста, имеющие место в прошлом, сохраняются и в будущем. При этом не учитываются схемы организации работ по техническому обслуживанию пути на конкретных участках и их влияние на интенсивность накопления расстройств после проведения работ.

В связи с вышесказанным, в настоящей главе работы представлены результаты предлагаемых новых подходов в системе планирования и организации выправочных работ в современных условиях эксплуатации, а именно:

для определения потребности в работах оперативного характера предлагается метод, основанный на общей оценке состояния участка пути (фоновая составляющая) с учетом вероятностных характеристик появления отдельных отступлений – теория выбросов случайных процессов;

для определения потребности в выправочных работах на среднесрочный период предлагается методология многовариантного пошагового прогнозирования нелинейных функций во времени (при наработке тоннажа), отработанная на примерах опытных участков грузового хода.

4.1 Применение основных положений теории выбросов случайных процессов при определении потребности в работах оперативного характера

Процесс появления отдельных неисправностей по геометрии рельсовой колеи, требующих проведения оперативных работ по их устранению, является случайным и стандартным статистическим закономерностям не подчиняется.

В 1988 году д.т.н. Крейнис З.Л. в работе [33] отмечал, что состояние пути определяется комплексом параметров различной физической природы, а процесс качественного изменения состояния пути происходит непрерывно и множество его возможных состояний бесконечно. Отказы пути являются случайными событиями, а закономерности их появления нуждаются в вероятностных оценках.

К.т.н. Мишин в работе [51] указывал, что прогнозировать детерминированными методами можно только интегральные показатели, которые характеризуют в целом состояние отрезка пути. Развитие отдельного дефекта пути (например, отступления по геометрии рельсовой колеи) спрогнозировать детерминированными методами принципиально невозможно, т.к. поведение такого дефекта носит вероятностный характер.

Таким образом, процесс появления в пути отдельных отступлений, требующих проведения оперативных работ по их устранению, требует применения нестандартных методик оценки.

Для оценки потребности в проведении работ по оперативному устранению отдельных отступлений и неисправностей в работе предлагается использовать подход, основанный на теории выбросов случайных процессов и описанный в книге д.т.н. В.И. Тихонова «Выбросы случайных процессов» [108]. Результаты исследований по оценке состояния пути с использованием вероятностных характеристик появления неровностей и фоновой составляющей широко освещены в работах А.Я. Когана, З.Л. Крейниса, В.О. Певзнера, В.П. Сычева, С.В. Малинского, А.Н. Ефимова, Э.К. Лецкого [33, 56, 109-111].

Суть подхода по оценке состояния пути с использованием теории выбросов следующая: неисправность с одной и той же амплитудой может резко выделяться на фоне хорошего состояния пути, что требует одиночного устранения этой неровности, и быть незаметной при общем плохом состоянии пути, что указывает на необходимость ремонта всего участка.

С точки зрения теории выбросов случайных процессов, к выбросу следует относить любой сигнал, выделяющийся на фоне общего шума. Таким образом,

далее в работе выбросом будем считать любое отступление (или неисправность), по амплитуде выделяющееся на фоне общего состояния пути.

При этом понятие «фона» должно быть формализовано с точки зрения возможностей выделения исследуемого сигнала из помех в процессе измерений, так и с точки зрения возможностей выделения реакции подвижного состава на конкретную неровность из всех показателей, регистрируемых на данном участке. При решении вопросов оценки состояния пути важно также учитывать вероятностный характер возникающих реакций.

Выброс – это отступление или неисправность, резко выделяющаяся на фоне общего состояния пути, появление которого является одним из критериев потребности назначения работ по его устранению

В теории вероятности, при решении практических задач, принято, что сумма достаточно большого числа независимых (или слабо зависимых) случайных величин или значений какого-либо параметра приближенно подчиняется нормальному закону распределения (закон Гаусса) [100-101]. Приняв, что распределение отступлений как случайной величины подчиняется нормальному закону, будет справедливо применение правила 3-х сигм: вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания на величину, большую чем утроенное среднеквадратическое отклонение, практически равна нулю. Это значит, что 68,26% значений нормально распределенной случайной величины лежат в интервале $M+\sigma$, 95,44% - в интервале $M+2\sigma$, а 99,72% - в интервале $M+3\sigma$ – рисунок 4.1.

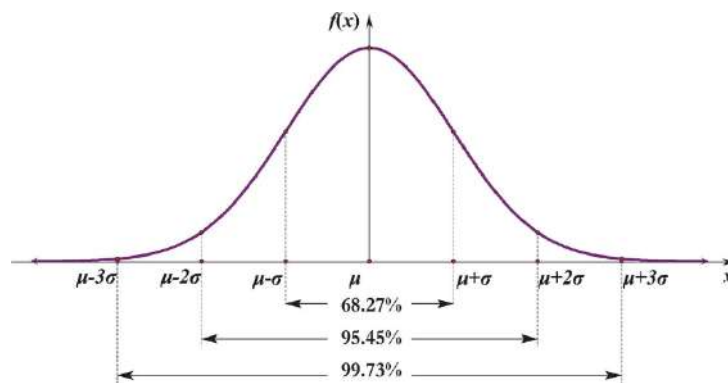


Рисунок 4.1 – Графическое отображение правила 3-х сигм, где: x – амплитуда неровностей на участке, мм

Таким образом, вероятность того, что случайная величина примет значение, отклоняющееся от математического ожидания больше чем на три среднеквадратических отклонения, не превышает 0,28%, т.е. пренебрежимо мала.

Основываясь на принятых постулатах, в дальнейшем будем считать, что к выбросам следует относить значения случайной величины (в работе это амплитудные значения отступлений по геометрии рельсовой колеи в вертикальной плоскости), превышающие интервал $M+2\sigma$ для участка заданной длины.

На рисунке 4.2 показано, что при увеличении средней амплитуды A_{cp} и СКО σ_{cp} неровностей, интервал $M(A)+2\sigma$ возрастает ($A_{cp1} < A_{cp2}$, $\sigma_{cp1} < \sigma_{cp2}$), следовательно, отдельные неровности не выделяются на фоне общего состояния пути (рисунок 4.2 б). Появление на участке заданной длины отдельных выбросов является одним из индикаторов потребности в проведении работ по их устранению.

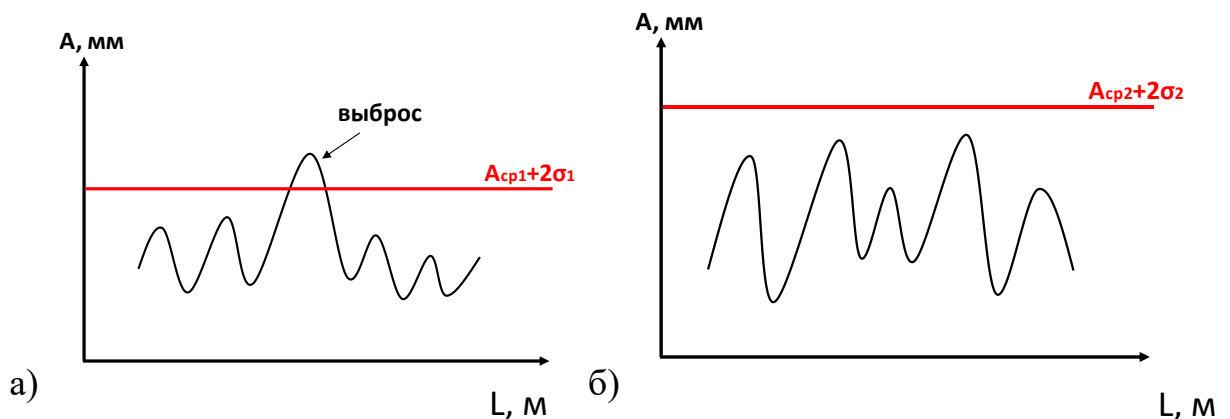


Рисунок 4.2 – Примеры реализаций случайных процессов

Рассмотрим несколько примеров.

Пример 1. На километре в i -й месяц наблюдений по результатам амплитудного анализа установлено, что средняя амплитуда просадок составила: $M(A) = 10,6$ мм, а среднеквадратическое отклонение (СКО) – 3,9 мм. Диапазон амплитуд просадок на участке равен 8-20 мм.

Определим диапазоны $M(A)+2\sigma$, $M(A)+2,5\sigma$ и $M(A)+3\sigma$ для данных условий:

$$M(A)+2\sigma = 10,6 + 2 * 3,9 = 18,4 \text{ мм}$$

$$M(A)+2,5\sigma = 10,6 + 2,5 * 3,9 = 20,6 \text{ мм}$$

$$M(A)+3\sigma = 10,6 + 3 * 3,9 = 22,3 \text{ мм.}$$

Принимая в качестве диапазона оценки интервал $M(A)+2\sigma$, получим, что на данном участке к выбросам будут относиться просадки, по существующей системе оценки, соответствующие II степени (плановое устранение). Однако ввиду высокой интенсивности роста расстройств в условиях особогрузонапряженных линий, появление таких одиночных выбросов на фоне «хорошего» и «отличного» состояния пути является индикатором начала ухудшения состояния пути, что требует выделения мест с такими выбросами для приоритетного назначения плановых работ по их устранению.

Пример 2. На километре в i -й месяц наблюдений по результатам амплитудного анализа установлено, что средняя амплитуда просадок составила: $M(A) = 13,1$ мм, а среднеквадратическое отклонение (СКО) – 4,0 мм. Диапазон амплитуд просадок на участке также равен 8-20 мм.

Определим диапазоны $M(A)+2\sigma$, $M(A)+2,5\sigma$ и $M(A)+3\sigma$ для данных условий:

$$M(A)+2\sigma = 13,1 + 2 * 4,0 = 21,2 \text{ мм}$$

$$M(A)+2,5\sigma = 13,1 + 2,5 * 4,0 = 23,2 \text{ мм}$$

$$M(A)+3\sigma = 13,1 + 3 * 4,0 = 25,2 \text{ мм.}$$

Принимая в качестве диапазона оценки интервал $M(A)+2\sigma$, получим, что на данном участке просадки амплитудой до 20 мм выбросами не являются, как это было в первом примере, т.к. средняя амплитуда и СКО просадок на данном участке выше. В этом случае необходим анализ фоновой составляющей (суммарного количества отступлений) на участке для определения потребности (или отсутствия потребности) в выправочных работах локального или сплошного характера. Так, при количестве отступлений более 20 шт./км потребность в работах будет определяться в соответствие с плотностью распределения отступлений на участке заданной длины.

Для оценки стабильности участка пути по количеству возникающих выбросов и фоновой составляющей по результатам анализа интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей на сети железных дорог, находящихся в различных условиях эксплуатации, в работе предлагается следующий вариант

ранжирования участков по количеству выбросов с учетом имеющихся ресурсов для проведения работ – таблица 4.1.

Проведенный анализ позволил установить критерии оценки стабильности участка пути заданной протяженности с использованием теории выбросов случайных процессов, согласно которым, появление на участке отдельных выбросов, превышающих интервалы $M(A)+2\sigma$, $M(A)+2,5\sigma$, $M(A)+3\sigma$ является индикатором необходимости проведения работ по их устранению в плановом (приоритетном), первоочередном или неотложном порядке, соответственно.

В тоже время, количество таких одиночных отступлений и неисправностей (фоновая составляющая) на участке пути обуславливает потребность в проведении выправочных работ локального или сплошного характера.

Таблица 4.1 – Критерии оценки стабильности пути по количеству выбросов (по просадкам) на участке заданной длины с рекомендациями по приоритету проведения работ

Критерий оценки стабильности пути	Амплитуда выбросов, мм	Интенсивность роста амплитуд выбросов, мм/млн т бр.	Рекомендации по работам¹⁾
при наличии выбросов по амплитудному анализу, превышающих интервал $M+3\sigma$	Соответствует II-III степени по Инструкции 436р ²⁾	Более 1,5 мм/млн т бр.	Немедленное устранение отдельных отступлений
при наличии выбросов по амплитудному анализу, превышающих интервал $M+2,5\sigma$	Соответствует II степени по Инструкции 436р ²⁾	более 1,3 до 1,5 мм/млн т бр.	Первоочередное устранение отдельных отступлений
при наличии выбросов по амплитудному анализу, превышающих интервал $M+2\sigma$	Соответствует II степени по Инструкции 436р ²⁾	более 1,2 до 1,3 мм/млн т бр.	Плановое устранение с приоритетом

1) во всех случаях при суммарном количестве отступлений II степени более 20 шт./км требуется проведение сплошной или локальной машинизированной выправки пути

2) Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов, утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 28.02.2020 г. № 436/р.

Разработанные критерии могут служить дополнением к существующей системе оценки состояния пути, основанной на точечной амплитудной оценке

отдельных отступлений и неисправностей и соответствующем порядке их устранения (плановый, первоочередной, неотложный).

4.2 Совершенствование порядка определения необходимых сроков проверки геометрии рельсовой колеи

В условиях непрерывного роста грузонапряженности, количества тяжеловесных поездов на ряде направлений и количества вагонов с нагрузкой 25 т/ось, имеет место рост силовой нагруженности пути на основных ходах на величину до 20%. Поскольку расстройство пути пропорциональны осевым нагрузкам в степени 2-4 [112], в таких условиях следует ожидать увеличения количества неисправностей IV степени, требующих ограничения скоростей движения.

Неизбежным следствием этого является рост потребности в увеличенной частоте проходов диагностических средств.

В настоящее время на особогрузонапряженных линиях нормативной документацией предусмотрен порядок периодичности контроля основных параметров геометрии рельсовой колеи – 2 раза в месяц [113].

При этом фактическое состояние пути не учитывается.

Как показали результаты исследований закономерностей интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в различных условиях эксплуатации на сети, проведенных в предыдущих главах работы и при участии автора, описанных в ряде публикаций [114-116], переход из II в III степень по амплитуде отдельных просадок на особогрузонапряженных линиях может произойти при пропуске 4-6 млн т бр., что при высокой грузонапряженности составляет всего несколько дней. При существующей периодичности контроля на таких участках 2 раза в месяц это приводит к опасности резкого появления неисправностей, угрожающих безопасности движения, между двумя проверками пути.

Таким образом, в условиях высокой грузонапряженности периодичность контроля геометрии рельсовой колеи должна включать возможность увеличения

частоты проверок пути (разово или на постоянной основе) по фактическому состоянию пути.

На основании установленных закономерностей изменения интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в условиях сети (глава 3 диссертационного исследования) определены следующие положения по уточнению порядка периодичности контроля состояния пути, включенные в Методику определения периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи, утвержденную Центральной дирекцией инфраструктуры 27 декабря 2021 г. № ЦДИ-1103/р (приложение Г):

1. В условиях особогрузонапряженных линий, где существует опасность резкого непредсказуемого ухудшения состояния пути, порядок должен включать возможность увеличения частоты проверок пути;

2. В условиях низкой грузонапряженности необходимость в увеличении частоты проверок не представляется целесообразной;

3. Во всех случаях расчетный интервал пропущенного тоннажа между проверками должен составлять 5-6 млн т бр. и менее.

В основу уточнения сроков периодичности контроля параметров рельсовой колеи был положен опыт Европейских железных дорог.

В Европе, как известно, условия эксплуатации отличаются от отечественных, а грузонапряженность в среднем составляет до 30 млн ткм бр./км в год (по данным 2019 года).

На Венгерских железных дорогах (MÁV), по данным 2013 года [117], контроль пути путеизмерительными вагонами осуществляется со следующей периодичностью:

на перегонах и приёмоправочных путях со скоростями движения более 120 км/ч: 3 раза в год (между проверками должно проходить минимум 3 месяца);

на перегонах и приёмоправочных путях со скоростями движения 120 км/ч и менее: 2 раза в год (между проверками должно проходить минимум 3 месяца, максимум 8 месяцев).

Подобная система периодичности контроля состояния пути применяется на железных дорогах Словакии (ZSR) [118]. Частота промеров геометрических параметров рельсовой колеи путеизмерительным вагоном зависит от категории пути:

- на главных путях Ia, Ib и II категории минимум 3 раза в год;
- на главных путях III категории минимум 2 раза в год;
- на главных путях IV категории минимум 1 раз в год.
- на станционных и прочих путях 1 раз в 6 месяцев,
- после ремонта или реконструкции пути - согласно нормативам [118].

Отмечается, что в отдельных случаях допускается увеличение частоты проверок сверх установленных интервалов.

При невозможности проведения промеров путеизмерителем, а также для диагностики геометрии стрелочных переводов, применяются измерительные тележки с непрерывной записью типа KRAB, ЕПР или ручной путевой шаблон.

На сети железных дорог Польши РКР (Polskie Linie Kolejowe), измерения геометрических параметров железнодорожного пути с помощью путеизмерителей выполняются в соответствии с графиком, подготовленным Центром диагностики и утвержденным Управлением железных дорог Центрального аппарата Компании [119].

Периодичность контроля параметров пути путеизмерительными вагонами зависит от скорости движения поездов на участке, и в соответствии с [119] составляет:

- на линиях с максимальной скоростью движения $V > 160$ км/ч 3 раза в год (1 раз в 4 месяца);
- на линиях с максимальной скоростью движения $100 \text{ км/ч} < V < 160 \text{ км/ч}$ – 2 раза в год (весной и осенью);
- на линиях с максимальной скоростью движения $V < 100$ км/ч 1 раз в год.

По результатам промеров для каждого километра составляется отчет об оценке, включающий координаты нахождения неисправности, величину неисправности, допуски по скоростям движения на участке. Усредненная оценка

отдельных перегонов (или всей линии) формируется по результатам оценок каждого километра.

На отечественных железных дорогах в условиях особогрузонапряженных линий, например, Восточного полигона, при грузонапряженности 180 млн ткм бр./км в год и 2-х проверках в месяц, в период между двумя проверками обеспечивается пропуск 7,5 млн т бр. пропущенного тоннажа:

$$\frac{180}{24} = 7,5 \text{ млн т бр.}$$

А при трех проверках в месяц:

$$\frac{180}{36} = 5,0 \text{ млн т бр.}$$

Необходимость увеличения частоты проверок пути в отдельных случаях до 3-х раз в месяц обусловлена высокой интенсивностью роста амплитуд неровностей на особогрузонапряженных линиях (по максимальным значениям, полученным по результатам анализа фактической интенсивности роста отдельных неровностей на сети - до 1,61 мм/млн т бр. или 12 мм на каждые 7,5 млн т бр. пропущенного тоннажа при двух проверках или 8 мм на каждые 5,0 млн т бр. пропущенного тоннажа при трех проверках).

В Европейских условиях при средней грузонапряженности 20 млн ткм бр./км в год и периодичности контроля, к примеру, 3 раза в год, тоннаж между проверками составит около 6,7 млн т бр.:

$$\frac{20}{3} = 6,7 \text{ млн т бр.}$$

Таким образом, можно констатировать, что с учетом разницы в грузонапряженности, по предлагаемой Методике (приложение Г) и европейским нормативам между двумя проверками обеспечивается пропуск тоннажа в относительно равных диапазонах значений.

4.3 Определение потребности в выправочных работах на среднесрочный период на базе многовариантного прогноза

4.3.1 Основные положения методологии прогноза

По результатам диссертационного исследования автора впервые в нормативную документацию по планированию ремонтов пути включено положение о необходимости прогноза состояния пути для определения потребности в работах на среднесрочный период (п. 5.10 в [6]).

В связи с этим возникает необходимость в разработке методологии прогноза состояния пути с учетом выводов, полученных в предыдущих главах работы.

Современные условия работы пути характеризуются тем, что тенденции изменения количества отступлений, а также интенсивность роста амплитуд отдельных неровностей, при наработке тоннажа имеют нелинейный характер и в зависимости от состава работ по техническому обслуживанию пути на конкретных участках могут быть описаны, к примеру, экспоненциальными функциями с резким увеличением.

В результате, основная задача при прогнозировании состояния пути в настоящее время сводится к определению интервала по пропущенному тоннажу, при котором следует проводить профилактические работы для исключения непредсказуемого ухудшения состояния пути.

В современных условиях подход к прогнозированию изменения состояния пути также должен включать алгоритмы, учитывающие возможное изменение условий эксплуатации (увеличение грузонапряженности, изменение плана формирования поездов, рост числа вагонов с повышенной осевой нагрузкой, и т.д.).

В работе [120] при участии автора отмечается, что если с помощью линейного полинома Лагранжа получен прогноз роста числа отказов на несколько лет при постоянных условиях эксплуатации – линия 1, то при изменившихся условиях эксплуатации прогноз пойдет по линии 2 – рисунок 4.3.

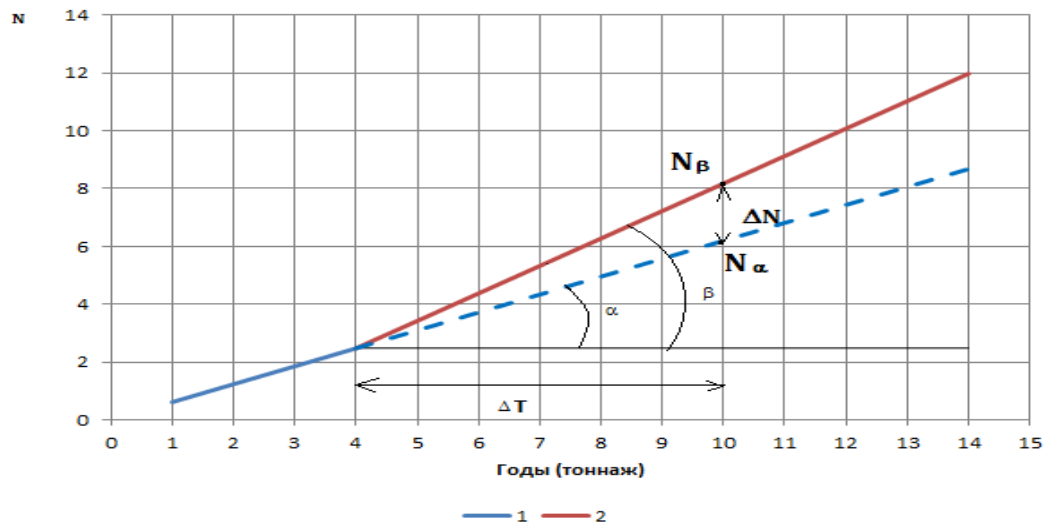


Рисунок 4.3 - Схема определения потребности в работах при изменении условий эксплуатации

1 – линия прогноза при существующих условиях эксплуатации;

2 – линия прогноза при изменившихся условиях эксплуатации

В этом случае разница в прогнозируемых величинах составит (4.1):

$$\Delta N = \Delta T * tg\beta - \Delta T * tg\alpha \quad (4.1)$$

где:

ΔT – прирост пропущенного тоннажа на прогнозируемый период;

ΔN – прирост исследуемого показателя.

Сложность заключается в том, что отсутствие предыстории не позволяет построить линию 2 также, как линию 1, по полиному Лагранжа.

В работе [120] также отмечается, что изменение условий эксплуатации сводится к определению коэффициентов, учитывающих условия эксплуатации пути для существующего состояния и изменившихся условий эксплуатации.

При этом, если рассматривать один участок при различных вариантах обращающегося на нем подвижного состава, то конструкция участка, план, профиль будут одинаковыми, отличаться будет составляющая по загруженности участка, зависящая от условий эксплуатации. Таким образом, основой системы организации технического обслуживания пути должна являться информация об изменении показателей силовой загруженности пути.

Следствием изменения условий эксплуатации является необходимость корректировки системы технического обслуживания пути на таких участках.

Процесс изменения состояния пути при наработке тоннажа в течение жизненного цикла с учетом системы организации технического обслуживания пути может быть описан следующей аналитической моделью, включающей 4 стадии работы пути - рисунок 4.4.

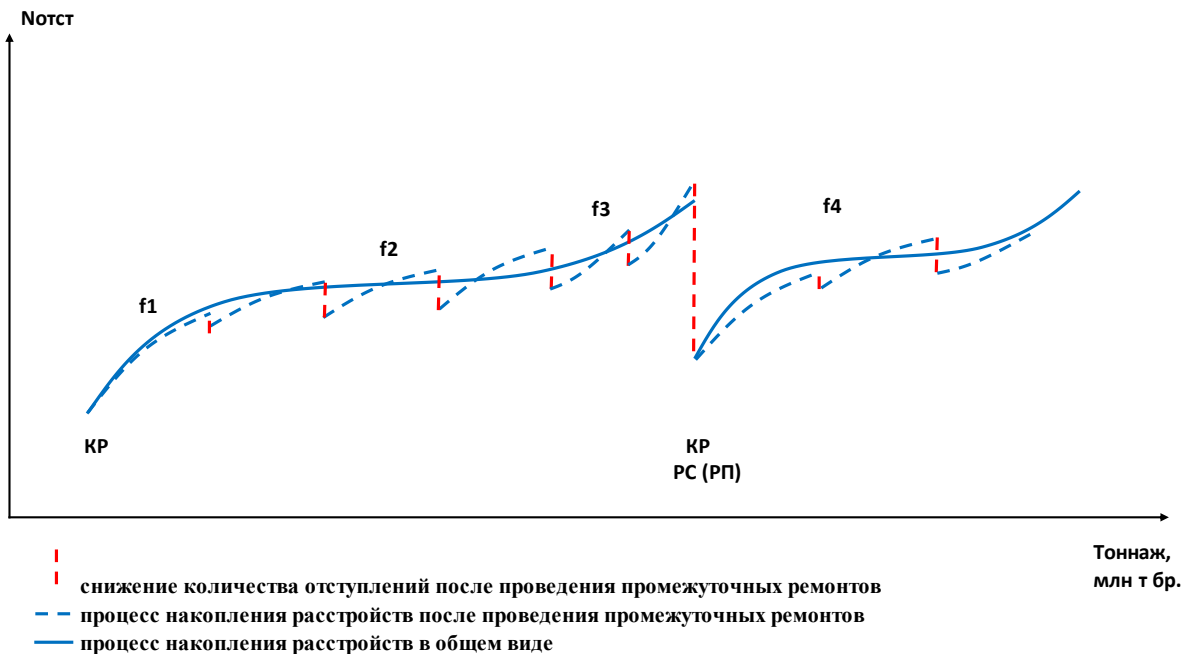


Рисунок 4.4 - Общий вид схемы жизненного цикла состояния пути на участке пути длиной в перегон

Приведенная на рисунке 4.4 аналитическая модель в общем виде описывается следующим выражением (4.2):

$$\begin{aligned}
 N = [f_1 - N_{\text{отд}}] + [f_2 - N_{\text{отд}} - N_{\text{лок}}] + [f_3 - N_{\text{отд}} - N_{\text{лок}} - N_{\text{спл}} - N_{\text{спл}}^{\text{проф}}] + \\
 + [f_4 - N_{\text{отд}} - N_{\text{лок}} - N_{\text{спл}} - N_{\text{спл}}^{\text{проф}} - N_{\text{РС(РП)}}] \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

где:

N – количество отступлений и неисправностей на участке длиной в перегон;
 f_i – функции количества отступлений, характеризующие изменение состояния пути на различных стадиях жизненного цикла в период между капитальными ремонтами:

– в период стабилизации процесс изменения состояния пути может быть описан логарифмической функцией f_1 возрастающего характера;

– в период стабильной работы пути - в общем виде логарифмической или линейной функцией с постепенным увеличением - f_2 ;

– в период интенсивного роста расстройств – экспоненциальной функцией резко возрастающего характера - f_3 ;

– при ремонтной схеме с промежуточным ремонтом в виде РС(РП) в середине межремонтного цикла для наработки 1400 млн т бр., после проведения данного вида ремонта наблюдается снижение количества отступлений с последующим ростом - f_4 ;

$N_{отд}$ – количество отдельных отступлений и неисправностей, устраняемых в оперативном порядке;

$N_{лок}$ – количество отступлений и неисправностей, устраняемых в ходе локальной механизированной выправки пути (на длине пикета);

$N_{спл}$ - количество отступлений и неисправностей, устраняемых в ходе сплошной механизированной выправки пути (на длине километра/группы километров);

$N_{спл}^{проф}$ – то же, в профилактическом порядке на базе прогноза;

$N_{РС(РП)}$ - количество отступлений и неисправностей, устраняемых в ходе промежуточных ремонтов РС (РП) при ремонтной схеме до наработки 1400 млн т бр.

При прогнозировании изменения состояния пути для определения потребности в работах на среднесрочный период необходимо учитывать условия работы пути и динамику его изменения на каждой стадии жизненного цикла. Для проведения профилактических работ и продления, тем самым, периода стабильной работы пути, оптимально проводить прогноз на стадии стабильной работы, а на стадии интенсивного роста расстройств при большом количестве отступлений и неисправностей требуется проведение выправочных работ по фактическому состоянию. Прогноз в этом случае не целесообразен.

Приведенная выше аналитическая модель иллюстрирует характер изменения состояния пути при наработке тоннажа, определяемый составом и формой проводимых работ с учетом процесса накопления деформаций конструкцией пути.

Результаты ретроспективного анализа изменения состояния пути на конкретных участках являются основой при прогнозировании состояния пути на среднесрочный период.

Рассмотрим три варианта изменения состояния пути на примере участков, исследуемых во второй главе диссертационного исследования.

Как было отмечено выше, процесс изменения состояния пути при наработке тоннажа является нелинейным.

В общем виде этот процесс может быть описан в виде функций различного характера – рисунок 4.5.

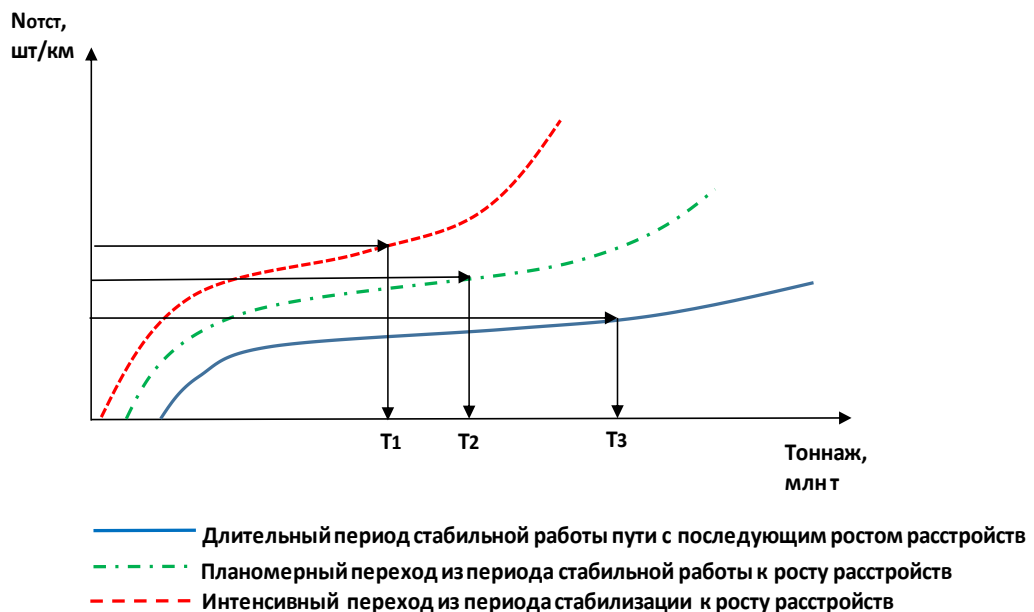


Рисунок 4.5 – Варианты изменения состояния пути при наработке тоннажа

Так, на рисунке 4.5 приведены 3 варианта функций, описывающих тенденции изменения состояния пути во времени (при наработке тоннажа) для 3 х участков:

на участке 1 (синяя линия на рисунке 4.5) процесс изменения состояния пути можно охарактеризовать как равномерный, длительный период стабильной работы пути с последующим медленным ростом расстройств;

на участке 2 (зеленая линия на рисунке 4.5) процесс изменения состояния пути можно охарактеризовать как планомерный переход из периода стабильной работы пути к росту расстройств;

на участке 3 (красная линия на рисунке 4.5) процесс изменения состояния пути характеризуется как интенсивный переход из периода стабилизации к росту расстройств (без периода стабильной работы пути), что характерно в условиях особогрузонапряженных линий с быстрой наработкой тоннажа в единицу времени.

Как следует из рисунка 4.5, в зависимости от ретроспективных тенденций изменения состояния пути потребность в проведении профилактической выправки на участке с интенсивным ростом расстройств наступает раньше:

$$T_1 < T_2 < T_3$$

Таким образом, можно констатировать, что прогноз накопления расстройств по геометрии рельсовой колеи не может быть универсален для всей сети железных дорог, т.к. каждый участок имеет различную степень деградации, в большей степени зависящую от условий эксплуатации и системы организации технического обслуживания пути.

В современных условиях для прогнозирования нелинейных процессов с изменяющимися свойствами во времени необходим подход, основанный на многовариантном прогнозе состояния пути в изменяющихся условиях эксплуатации [120,122].

В качестве такого подхода в диссертационном исследовании предлагается методология пошагового многовариантного прогнозирования состояния пути, основанная на применении алгоритмов кусочно-линейной аппроксимации.

Общий вид разработанной схемы прогнозирования приведен на рисунке 4.6.

Как следует из рисунка 4.6, меняющиеся условия имитируются различными сценариями изменения состояния пути: оптимистичного и среднего (при неизменных условиях эксплуатации и построении системы технического обслуживания пути на базе профилактических работ) и пессимистичного (при усложнении условий эксплуатации и отсутствии профилактических работ).

Шаг прогнозирования определяется опытным путем для каждого конкретного участка. На каждом шаге проводится проверка сходимости результатов прогноза и фактического изменения состояния пути с целью уточнения коэффициентов линейных функций.

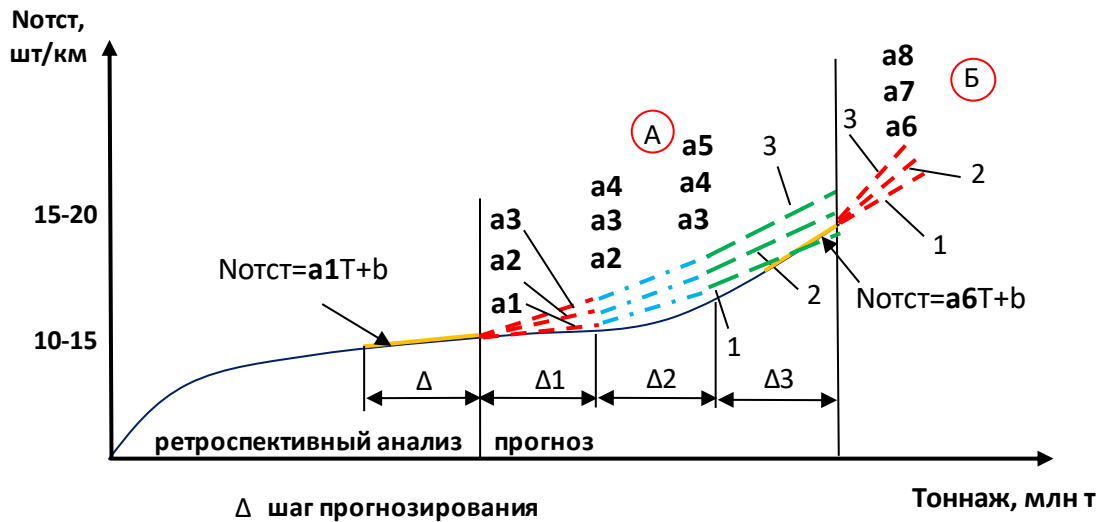


Рисунок 4.6 – Общий вид схемы пошагового многовариантного прогноза состояния пути для определения потребности в выправочных работах

где: 1 – оптимистичный сценарий;

2 – средний сценарий;

3 – пессимистичный сценарий;

А – прогноз в стадии стабильной работы пути;

Б – прогноз в начальной стадии роста расстройств

a_i – угловые коэффициенты линейных функций

Основные положения предлагаемой методологии прогноза следующие:

оптимистичный сценарий прогноза заключается в том, что на первом шаге прогноза законы накопления расстройств пути при наработке тоннажа, имеющие место в прошлом (по результатам ретроспективного анализа), на первом шаге прогноза не изменяются.

Согласно среднему сценарию, угловой коэффициент ретроспективной функции, имеющей место в прошлом, меняется незначительно (менее, чем в 2 раза).

Согласно пессимистичному сценарию – наблюдается резкое изменение углового коэффициента линейной функции в сторону увеличения (более, чем в 2 раза).

В общем виде порядок прогнозирования с использованием кусочно-линейного метода приведен в таблице 4.1:

Таблица 4.1 – Порядок прогнозирования кусочно-линейным методом нелинейных процессов с изменяющимися свойствами

Стадия жизненного цикла пути	Период прогноза	Оптимистичный сценарий	Средний сценарий	Пессимистичный сценарий
		Угловые коэффициенты линейных функций		
стабильная работа	ретроспективный анализ	a1		
	шаг 1	a1	a2	a3
	шаг 2	a2	a3	a4
	шаг 3	a3	a4	a5
начальная стадия роста расстройств	ретроспективный анализ	a6		
	шаг 1	a6	a7	a8

Таким образом, прогноз количества отступлений на ближайший период является функцией двух переменных:

– тенденции накопления количества отступлений по мере роста прошедшего тоннажа. Этот процесс подчиняется общим законам прогнозирования (методами экстраполяции), но темп этого прироста является переменной величиной;

– выполнения работ по текущему содержанию пути. Этот процесс зависит от системы организации технического обслуживания.

Рассмотрим основные аспекты прогнозирования на примере данных, приведенных на рисунке 4.7.

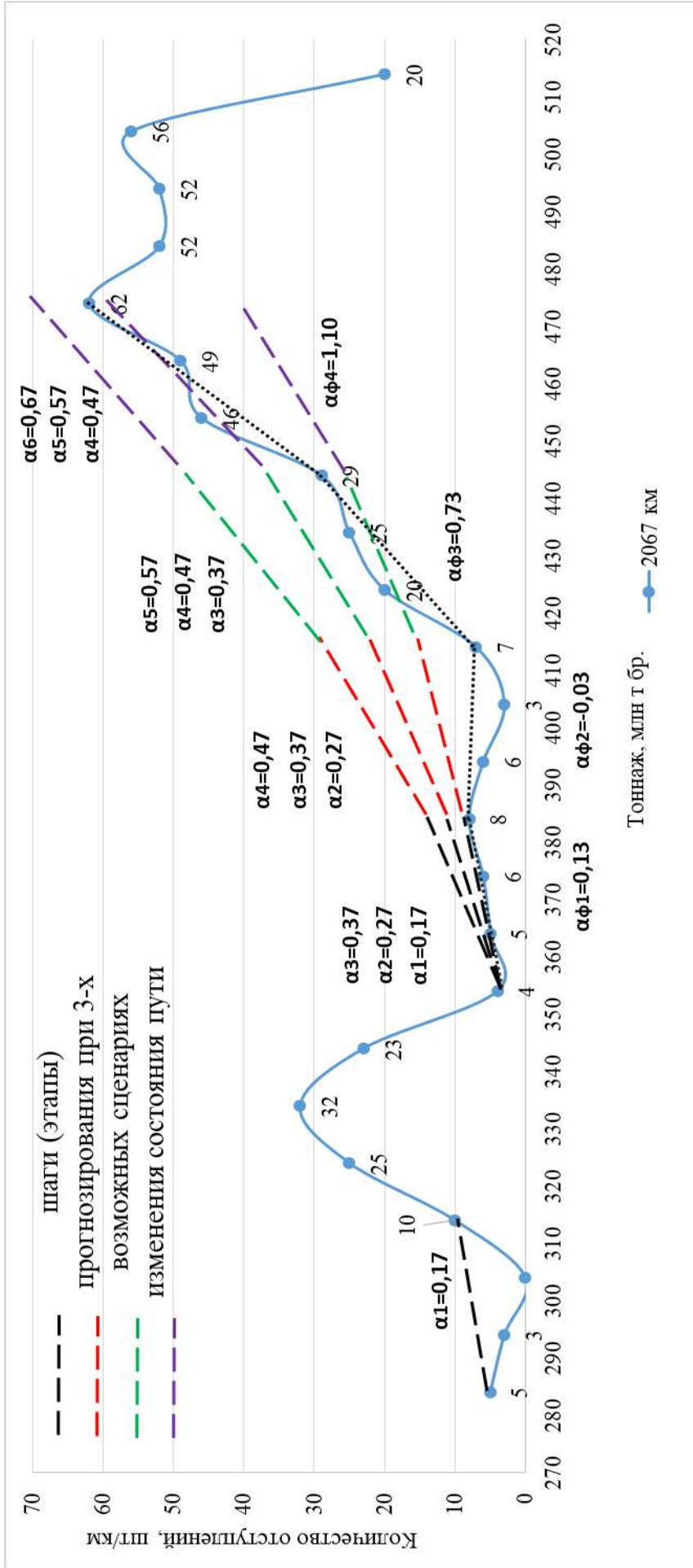


Рисунок 4.7 – Обработка методологии многовариантного прогноза накопления расстройств пути на примере 2067 км грузового пути направления Самара-Челябинск

Где:

- α₁₋₆ - угловые коэффициенты линейных функций прогноза
- α_φ - угловые коэффициенты фактического линейного тренда
- — — — — прогнозируемые линейные тренды
- фактический линейный тренд

Из рисунка 4.7 следует, что укрупненно процесс накопления расстройств пути на участке можно охарактеризовать следующими стадиями:

стадия стабильной работы, поддерживаемая за счет работ по текущему содержанию или локальных выправочных работ (по отдельным пикетам) (тоннаж 285-315, 350-415 млн т бр.);

стадия непредсказуемого ухудшения состояния пути, приводящая к появлению потребности в проведении работ по фактическому состоянию для обеспечения безопасности движения (тоннаж 315-330, 425-510 млн т бр.).

Варианты прогноза приняты при разном, но равномерном росте количества отступлений. За базу принят отрезок между точками 285 и 315 млн т бр. (горизонтальная ось), характеризующийся достаточно стабильным состоянием пути. Тем не менее, в точке 305 млн т бр., очевидно, были проведены работы по текущему содержанию пути, после чего на участке наблюдается рост количества отступлений. Средний темп прироста количества отступлений на данном отрезке составляет 0,17 шт./млн т бр.

В период пропуска 315-335 млн т бр. происходит непредсказуемый рост количества отступлений, которые в период 335-355 млн т бр. устраняются в рамках текущего содержания пути или работ на конкретном отрезке километра в период наработки 335-345 млн т бр., а затем при продолжении работ происходит падение количества отступлений до 4 шт./км в точке 355 млн т бр.

Это указывает на то, что прогноз на короткий период не может являться достаточно точным и решение о выполнении работ принимается по фактическому состоянию пути.

В период пропуска 355-385 млн т бр. изменение количества отступлений аналогично периоду 285-315 млн т бр. Это говорит о том, что только короткий период после выполнения работ состояние пути является прогнозируемым.

Это видно из того факта, что уже на следующем отрезке 385-415 млн т бр. при отличном состоянии пути выполнялись работы по текущему содержанию и прогноз не совпал с фактическим состоянием.

На следующем отрезке 415-445 млн т бр. никаких работ по текущему содержанию не проводилось и вновь начался интенсивный рост количества отступлений. На этой стадии интенсивность роста расстройств составила 0,73 шт./млн т бр. Но на данном временном отрезке количество отступлений совпадает с прогнозируемым по первому варианту.

Затем на отрезке 445-475 млн т бр. вновь начинается резкий рост количества отступлений темпом 1,1 шт./млн т бр. и общий темп на отрезке 355-475 млн т бр. составил 0,48 шт./млн т бр., а на отрезке 385-475 – 0,6 шт./млн т бр.

Темп равный 0,48 шт./млн т бр. соответствует четвертому прогнозируемому варианту.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- прогноз на короткий период около 30 млн т бр. в наибольшей степени подвержен влиянию выполнения работ по техническому обслуживанию и текущему содержанию;
- прогноз на среднесрочный период (355-445) темпом 0,28 шт./млн т бр. приближается к прогнозируемому варианту;
- прогноз на период 120 млн т бр. (355-475) совпадает с фактическим изменением состояния пути.

Следовательно:

1. перед разработкой прогноза необходимо изучить характер соотношения процессов естественной деградации пути по росту количества отступлений и проведения работ по техническому обслуживанию и текущему содержанию пути;
2. для участков с недостаточным уровнем стабильности прогноз целесообразно делать на достаточно длительный период;
3. степень стабильности геометрии рельсовой колеи в первом приближении может быть оценена по предшествующему периоду равному предполагаемому периоду прогноза.

Следующие примеры являются подтверждением того, что при сохранении существующей системы технического обслуживания пути в пределах одного участка, общий вид тенденции накопления расстройств пути за период годового цикла (наработка тоннажа около 100 млн т бр.) не изменяется (без учета отдельных выбросов, характеризующих стадии резкого роста расстройств).

Так, на рисунке 4.8 на примере 971 км грузового пути Горьковской дирекции инфраструктуры установлено, что в первый период наблюдений интенсивность прироста количества отступлений $\left(\frac{\Delta N}{\Delta T}\right)$ составила 0,045 шт./млн т бр., а во второй – 0,05 шт./млн т бр.

На рисунке 4.9 на примере 1115 км установлено, что в первый период наблюдений интенсивность прироста количества отступлений составила 0,18 шт./млн т бр., а во второй – 0,16 шт./млн т бр.

На рисунке 4.10 на примере 1138 км установлено, что в первый период наблюдений интенсивность прироста количества отступлений составила 0,13 шт./млн т бр., а во второй – 0,15 шт./млн т бр.

На рисунке 4.11 на примере 1082 км установлено, что в первый период наблюдений интенсивность прироста количества отступлений составила 0,12 шт./млн т бр., а во второй – 0,15 шт./млн т бр.

Как следует из полученных данных, при принятой системе технического обслуживания пути в границах конкретных участков разница между обобщенной интенсивностью роста отступлений в среднем за годичный цикл в первый и второй год наблюдений изменяется менее чем на 20%.

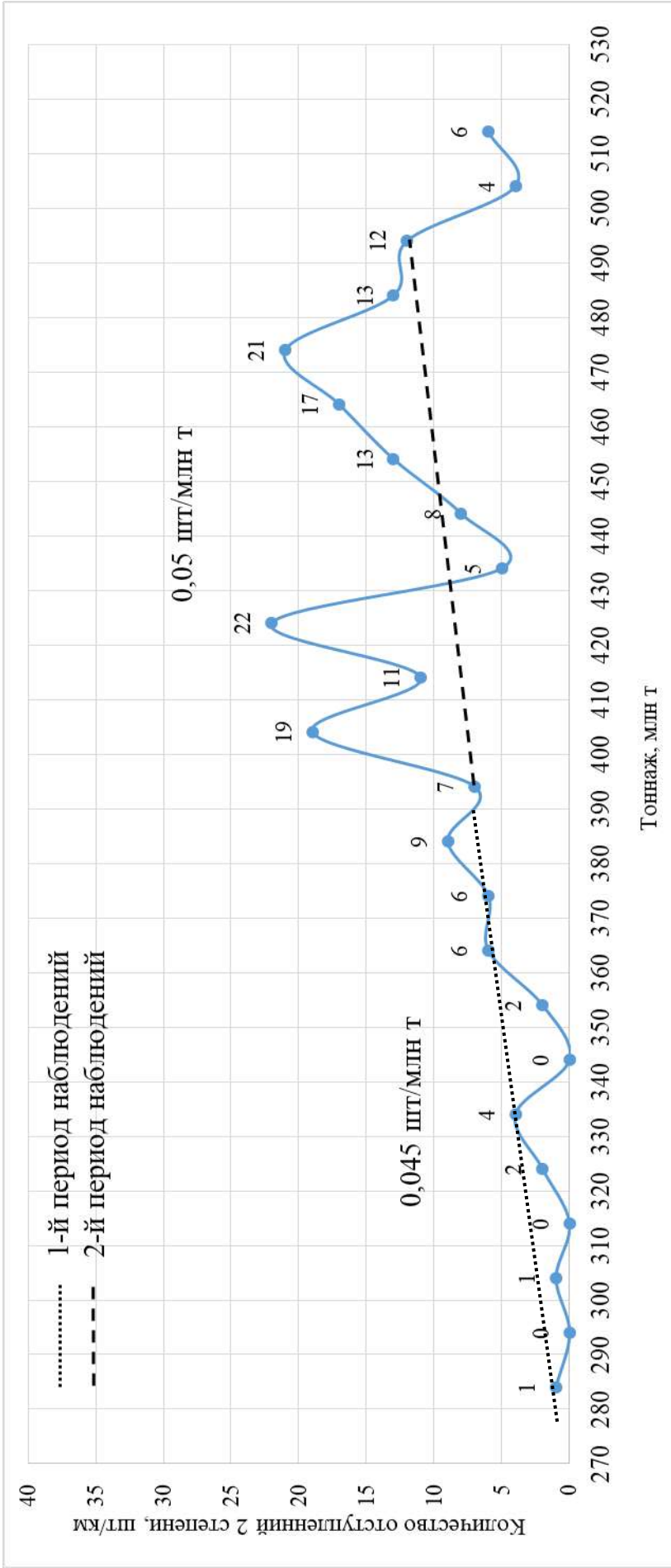


Рисунок 4.8 - Тенденции изменения состояния пути на 971 км грузового пути Горьковской дирекции инфраструктуры

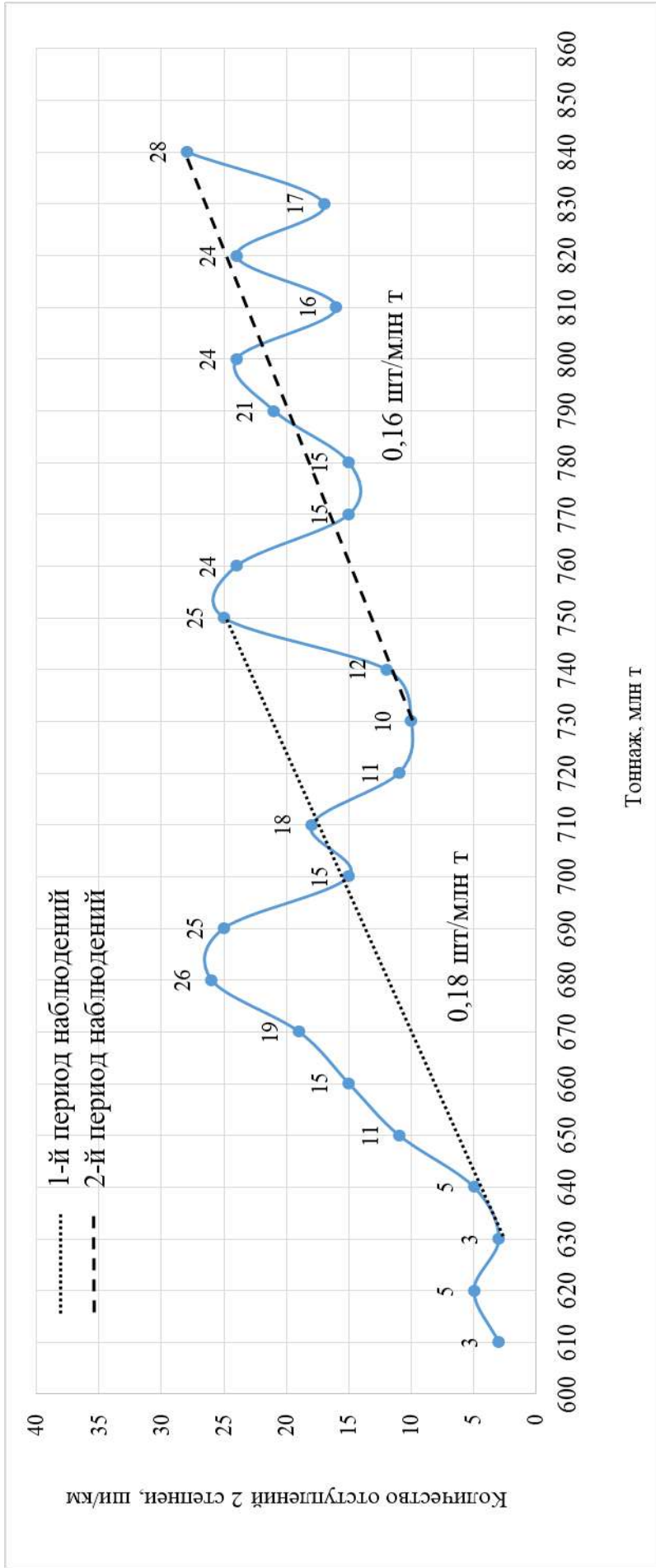


Рисунок 4.9 - Тенденции изменения состояния пути на 1115 км грузового пути Горьковской дирекции инфраструктуры

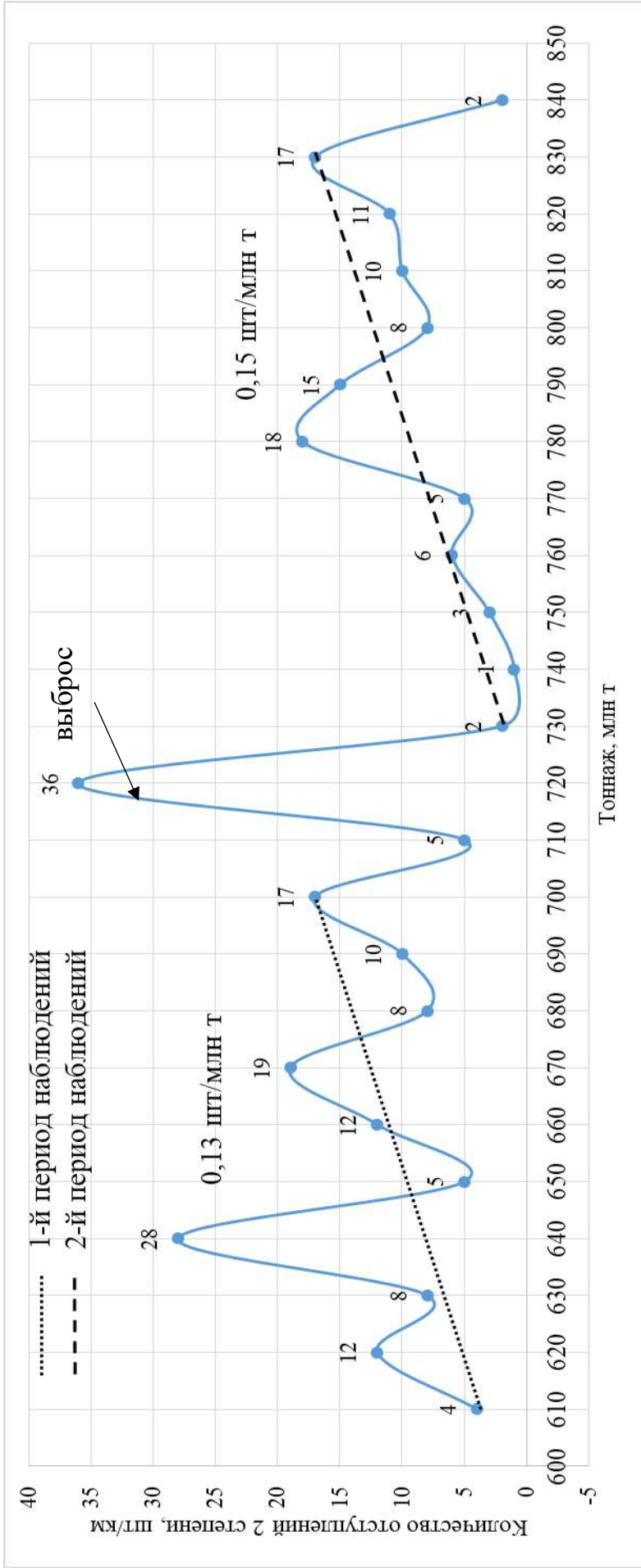


Рисунок 4.10 - Тенденции изменения состояния пути на 138 км грузового пути Горьковской дирекции инфраструктуры

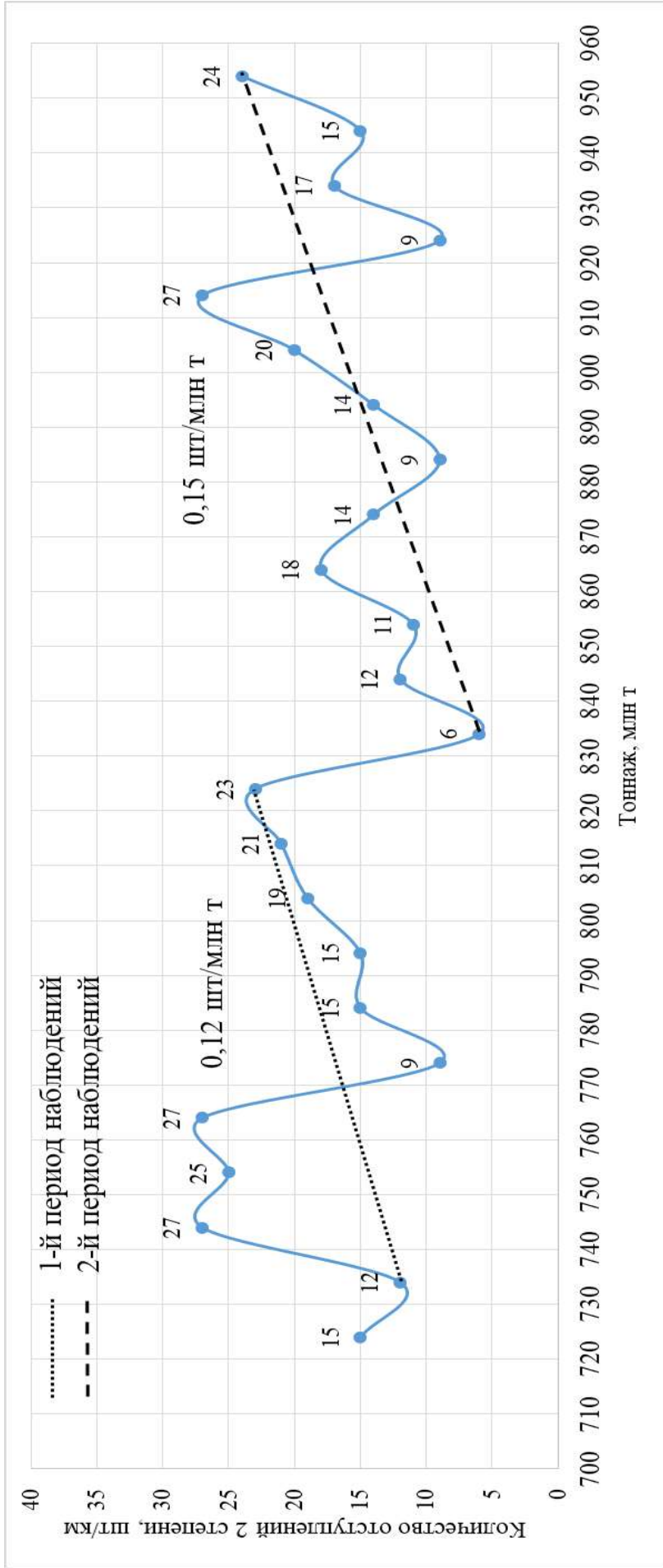


Рисунок 4.11 - Тенденции изменения состояния пути на 1082 км грузового пути Горьковской дирекции инфраструктуры

Обобщив вышесказанное, можно кратко сформулировать основные положения методологии прогнозирования состояния пути для определения потребности в выправочных работах на среднесрочный период:

1. Потребность в прогнозировании определяется уровнем эксплуатационных требований к линии: на особогрузонапряженных линиях безусловно требуется переход к опережающему проведению выправочных работ, на малодеятельных такой потребности может не быть вообще;

2. При прогнозировании состояния пути в условиях особогрузонапряженных линий и линий специализации «ГІ» в качестве единицы прогноза следует принимать не временной интервал (месяц, год), а пропущенный тоннаж;

3. Уточнение коэффициентов, а также шага прогнозирования, определяется опытным путем для каждого конкретного участка. В работе приведена общая методология пошагового многовариантного прогноза состояния пути, однако каждый отдельный участок требует проведения индивидуальных расчетов;

4. Прогноз изменения состояния пути при наработке тоннажа должен включать многовариантные расчеты, определяемые тенденцией изменения состояния пути на базе ретроспективного анализа за предыдущий период эксплуатации и известных или установленных закономерностях дальнейшего изменения состояния пути на конкретных участках;

5. При изменении условий эксплуатации и соответствующего изменения системы технического обслуживания пути на участке на первом шаге прогноза необходимо установить тенденции накопления расстройств пути в изменившихся условиях эксплуатации, и на базе полученных тенденции прогнозировать потребность в работах;

6. Прогноз на среднесрочный период должен учитывать климатические изменения (в межсезонный период можно ожидать резкого ухудшения состояния пути, поэтому следует рассматривать пессимистичный сценарий).

4.3.2 Уточнение критерия назначения профилактической выправки пути в условиях особогрузонапряженных линий

В работах [120-121] при участии автора отмечается, что планово-предупредительная выправка пути как профилактическое мероприятие способствует продлению жизненного цикла пути между «тяжелыми» ремонтами. При этом критерий назначения профилактической выправки пути должен быть двухпараметрическим, учитывающим не только количество уже существующих расстройств, но и интенсивность их прироста.

Для уточнения критерия назначения профилактической выправки пути был проведен анализ влияния схемы организации работ по выправке пути на интенсивность накопления расстройств пути на примере двух участков в границах Горьковской дирекции инфраструктуры: 1107 и 1120 км направления Киров-Екатеринбург, 1 грузовой путь.

На 1107 километре выправочные работы проводились по фактической потребности (при количестве отступлений II степени 31-43 шт./км).

На 1120 километре выправочные работы проводились профилактически (при количестве отступлений II степени 17-26 шт./км).

Для каждого километра определялись показатели стабильности состояния пути:

1. Интенсивность прироста отступлений II степени после каждой выправки – И, шт./млн т бр.;

2. Среднее количество отступлений II степени после каждой выправки – М, шт./км;

3. Среднеквадратическое отклонение отступлений II степени после каждой выправки – σ , шт./км.

На рисунках 4.12 и 4.13 показаны графики распределения количества отступлений II степени до и после проведения выправочных работ на данных участках.

На 1107 км, как следует из рисунка 4.12, выправка пути назначалась, когда количество расстройств составляло от 31 до 43 шт./км.

Интенсивность прироста количества отступлений определялась путем деления величины прироста ΔN , шт. на пропущенный за этот период тоннаж ΔT , млн т бр. Как следует из полученных данных, после каждой последующей выправки пути интенсивность роста отступлений увеличивается: если на первом этапе в 2018 году темп роста количества отступлений до выправки составлял 0,26 шт./млн т бр., то в 2020 году темп роста составил уже 0,74 шт./млн т бр., что почти в 2 раза больше – таблица 4.3.

Таблица 4.3 - Интенсивность прироста количества отступлений II степени между выправками пути на 1107 км, где выправочные работы проводились по фактической потребности

Временной период (см. рисунок 4.12)	ΔN , шт.	ΔT , млн т бр.	Интенсивность прироста, шт./млн т бр.	Среднее количество отступлений, шт./км	СКО количества отступлений, шт./км
1-2	27	105	0,26	19,9	10,1
3-4	32	47	0,68	19,2	12,6
5-6	14	47	0,30	27,5	4,7
7-8	34	46	0,74	19,1	13,4

Как следует из рисунка 4.12, при появлении на километре количества отступлений II степени 42 шт./км, была проведена частичная выправка пути по устранению отдельных отступлений и неисправностей. Это позволило снизить количество отступлений до 21 шт./км.

Проведение сплошной выправки пути при данных условиях позволило бы снизить количество отступлений до величины <5 шт./км и снизить тренд дальнейшего прироста отступлений, тем самым продлив стадию стабильной работы пути до следующей выправки.

Таким образом, фактический угол наклона тренда в точках 5-6 – 0,30 шт./млн т бр., за счет проведения сплошной выправки на километре, было бы возможно снизить до 0,14 (т. 5'-6'), а срок до следующей выправки продлить на ~4 мес.

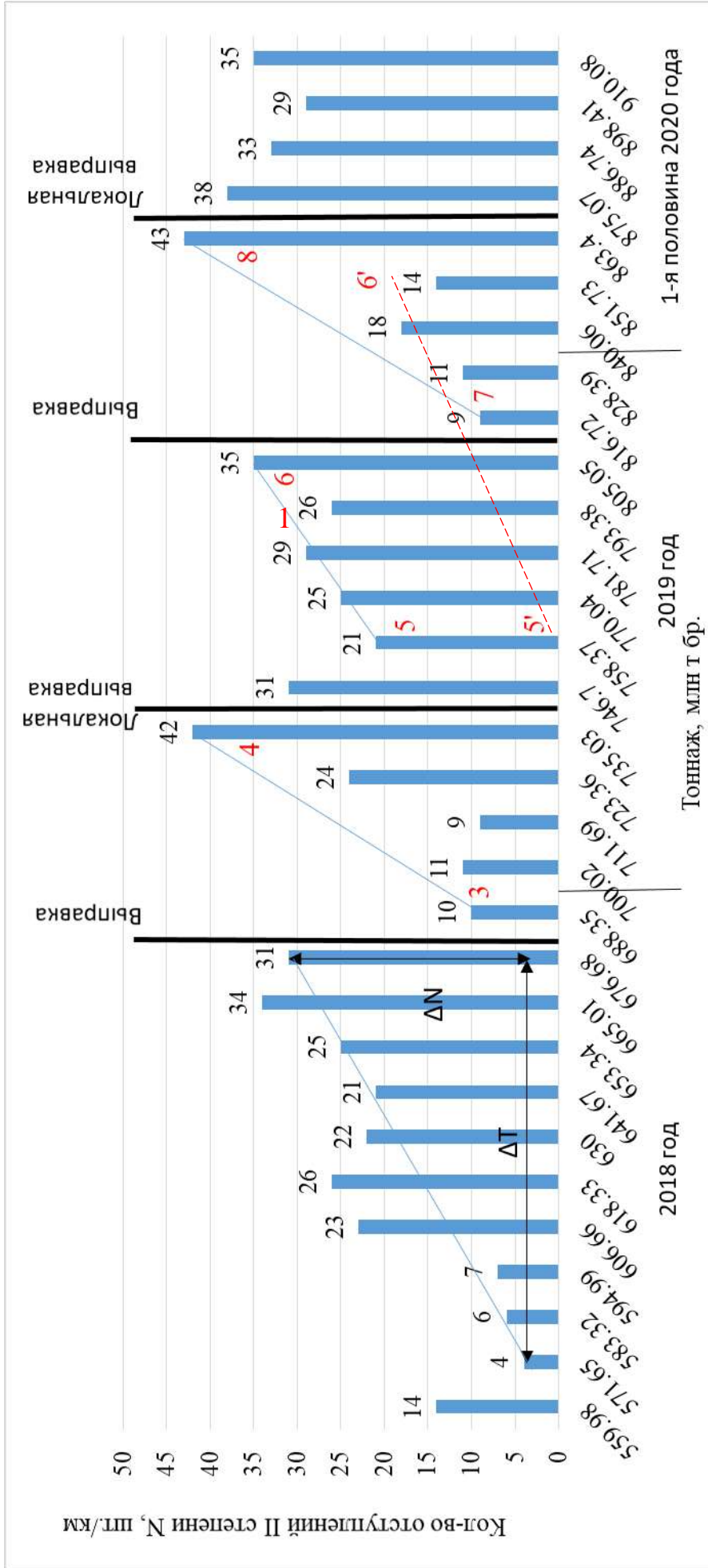


Рисунок 4.12 – Распределение количества отступлений II степени при наработке тоннажа на 1107 км 1 пути направления Киров-Екатеринбург (2018- 1п.2020 гг)

где:

- линейный тренд прироста количества отступлений II степени между выправками пути
- - - - - возможный тренд прироста количества отступлений II степени после проведения сплошной выправки пути
- 1-8 точки перелома тренда
- 5'-6' точки перелома возможного тренда

Анализ распределения количества отступлений II степени на 1120 километре, где выправка проводилась профилактически, показал, что на этом километре выправочные работы проводились при суммарном количестве отступлений II степени 17 - 26 шт./км – рисунок 4.13.

Это позволило снизить интенсивность прироста количества отступлений после второй выправки с 0,34 шт./млн т бр. до 0,23 шт./млн т бр. – таблица 4.4.

Таблица 4.4 - Интенсивность прироста количества отступлений II степени между выправками пути на 1120 км, где выправочные работы проводились профилактически

Временной период (см. рисунок 4.13)	ΔN , шт.	ΔT , млн т бр.	Интенсивность прироста, шт./млн т бр.	Среднее количество отступлений, шт./км	СКО количества отступлений, шт./км
1-2	24	70	0,34	10,4	10,5
3-4	15	164	0,09	8,13	5,8
5-6	19	81	0,23	14,4	6,7

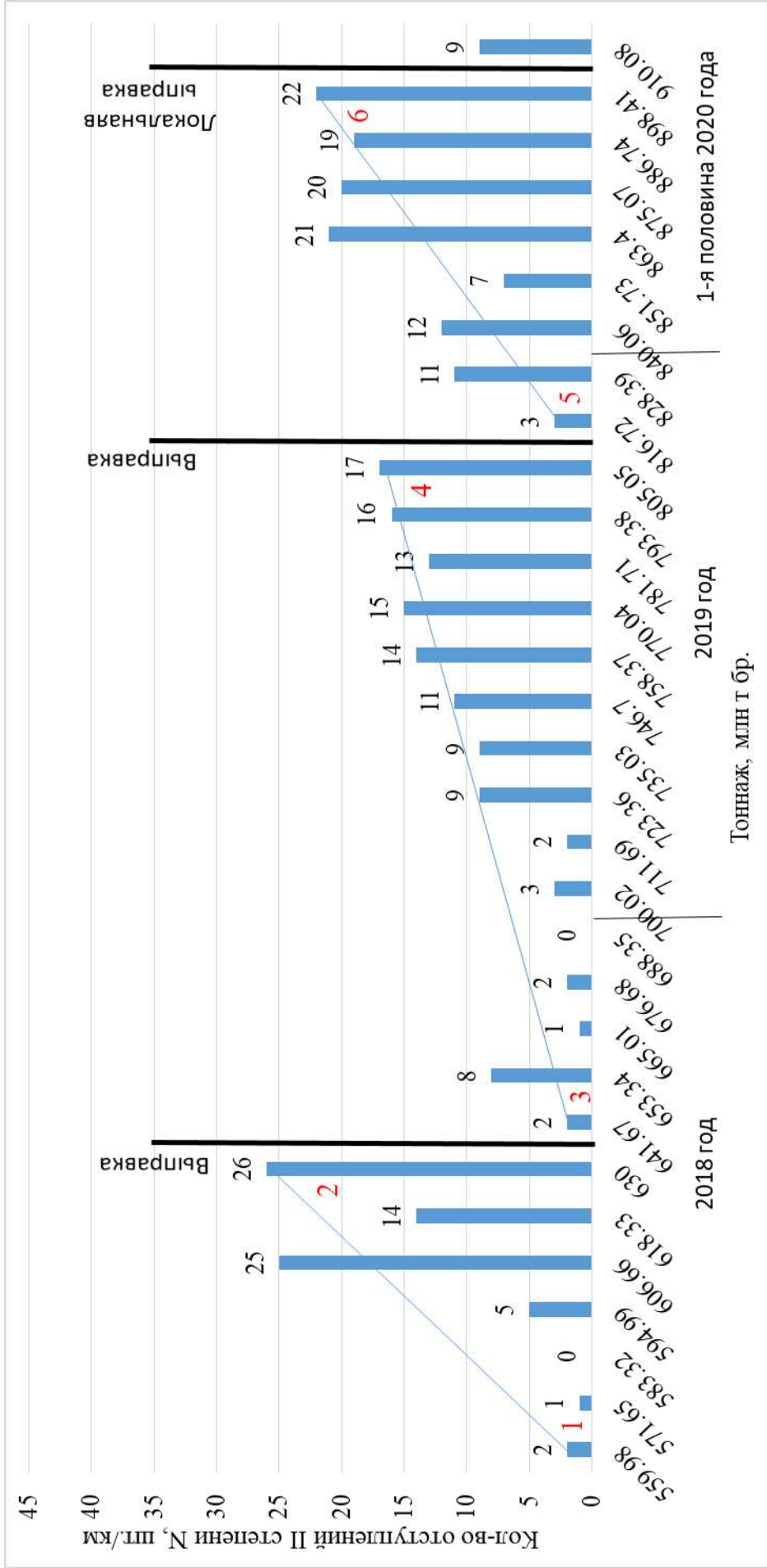


Рисунок 4.13 – Распределение количества отступлений II степени при наработке тоннажа на 1120 км 1 пути направления Киров-Екатеринбург (2018- 1п.2020 гг)

где:

— линейный тренд прироста количества отступлений II степени между выработками пути

1-6 точки перелома тренда

Полученные результаты по определению показателей оценки состояния пути после выправочных работ при двух схемах организации работ (выправка по факту или профилактически) были сгруппированы в графические диаграммы – рисунок 4.14 а-в. Временные интервалы приняты в соответствии с рисунками 4.12 и 4.13.

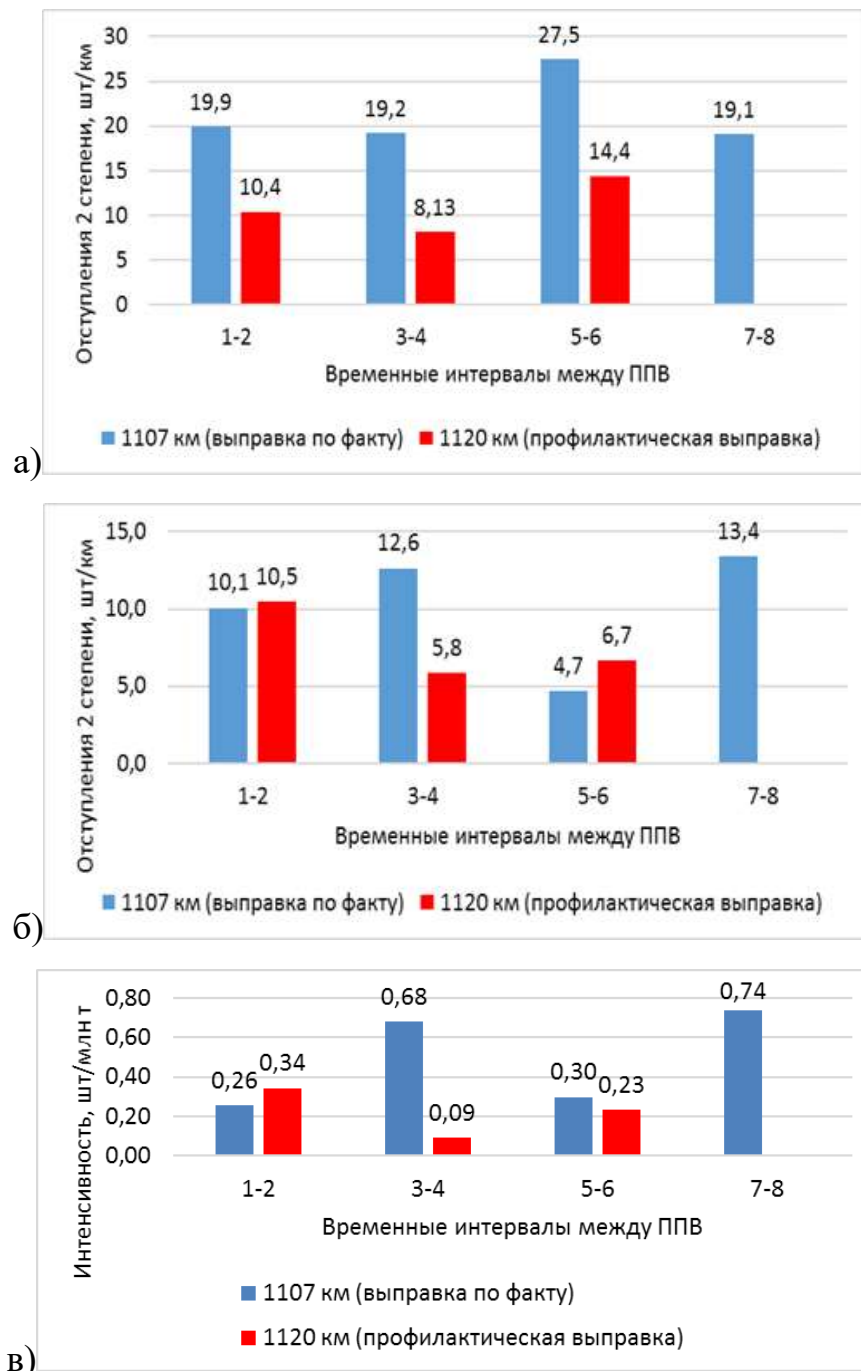


Рисунок 4.14 – а) Среднее количество отступлений II степени б) Среднеквадратическое отклонение отступлений II степени в) Интенсивность прироста отступлений II степени после каждой выправки при двух схемах организации работ

Результаты проведенного анализа показали, что более управляемой является система организации технического обслуживания пути, основанная на проведении профилактических работ на базе прогноза состояния пути, что хорошо корреспондируется с выводами, полученными в работе [121] при участии автора.

Результаты исследования автора вошли в разработку нормативного документа Правила назначения ремонтов железнодорожного пути [6] и были использованы при уточнении критерия профилактического назначения выправочных работ на особогрузонапряженных линиях – приложение Е.

Выводы по главе 4

Изменение условий эксплуатации обуславливает необходимость совершенствования существующей системы планирования выправочных работ: на краткосрочный период (оперативные работы) – по оценке состояния участка пути с учетом вероятностных характеристик появления отдельных отступлений, на среднесрочный период – по прогнозу состояния пути с разработкой соответствующих алгоритмов расчета.

На основании проведенного анализа предлагаемых подходов в системе планирования и организации выправочных работ можно сформулировать следующие положения:

1. Вероятностную составляющую появления отдельных отступлений и неисправностей (выбросов) предлагается определять на базе основных положений теории выбросов случайных процессов. По результатам проведенного исследования с применением теории выбросов разработаны и предложены критерии определения потребности в работах оперативного характера, которые могут служить дополнением к существующей системе оценки отдельных отступлений и неисправностей (балловая оценка), не учитывающей общее состояние участка пути (фоновую составляющую);

2. Для определения потребности в выправочных работах на среднесрочный период разработана методология прогнозирования нелинейных процессов изменения параметров геометрии рельсовой колеи при наработке тоннажа с применением алгоритмов кусочно-линейной аппроксимации.

Разработанные практические рекомендации в системе организации и планирования выправочных работ, рекомендованы для практического применения специалистам путевого хозяйства по итогам Резолюции V Национальной научно-технической конференции с международным участием «Путь XXI века» (г. Санкт-Петербург) (приложение Д);

3. По результатам анализа состояния пути на участках, где проводилась выправка по фактической потребности (при количестве отступлений II степени

31- 43 шт./км) и профилактически (при количестве отступлений II степени 17-26 шт./км) установлено, что более управляемой является система организации технического обслуживания пути, основанная на проведении профилактических работ на базе прогноза состояния пути;

4. По результатам исследования автора введены в нормативную документацию (Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 03.02.2023г. №234/р)) положения о необходимости прогноза состояния пути при определении потребности в работах по техническому обслуживанию пути и предложений по уточнению критериев назначения профилактической выправки пути на особогрузонапряженных линиях (п. 5.10 и Таблица 6.5 вышеуказанных Правил) (приложение Е);

5. На основании установленных закономерностей изменения интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в условиях сети, разработан и введен порядок определения сроков диагностики геометрических параметров рельсовой колеи с учетом фактической интенсивности роста неровностей (Методика определения периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи, утвержденной Центральной дирекцией инфраструктуры 27 декабря 2021 г. № ЦДИ-1103/р) (приложение Г).

Глава 5. Оптимизация и технико-экономическая оценка системы организации работ по техническому обслуживанию пути в условиях особогрузонапряженных линий

Изменение условий эксплуатации приводит к необходимости совершенствования не только подходов в системе планирования работ, но и порядка их организации.

В настоящее время на участках с высокой плотностью поездопотока выделять дополнительные «окна» в графике движения для производства профилактических работ весьма затруднительно ввиду того, что каждое предоставляемое «окно» приводит к значительным экономическим потерям перевозочного процесса из-за задержек поездов на время производства работ.

В результате основной задачей работ по техническому обслуживанию пути в таких условиях становится устранение крупных отступлений и неисправностей, угрожающих безопасности движения, а не проведение профилактических работ.

В условиях высокой плотности поездопотока для оздоровления участка пути длиной в перегон с неравномерным распределением отступлений и неисправностей по длине участка в работе предлагается вариант организации выправочных работ в совмещенное «окно» одновременно на нескольких фронтах тремя комплексами машин, включающий:

- работы по сплошной выправке на участках пути длиной до 1500 м;
- работы по локальной выправке на участках пути длиной 100-200 м;
- работы по точечной выправке в отдельных местах.

Технико-экономический эффект от внедрения предлагаемого варианта определяется сокращением количества «окон» и потерь перевозочного процесса за счет перераспределения имеющихся машин и концентрации их в местах, требующих проведения сплошной, локальной и точечной выправки пути.

5.1 Многовариантная система выбора форм организации технического обслуживания пути

Выбор схемы организации работ по техническому обслуживанию пути обуславливает порядок проведения выправочных работ, их периодичность и своевременность.

В качестве основополагающих показателей при выборе форм организации работ по техническому обслуживанию пути в условиях особогрузонапряженных линий и линий специализации ГІ – «грузовая», на основании совокупности исследований, проведенных в предыдущих главах работы, и действующего порядка оценки состояния пути, изложенного в Руководстве по Комплексной оценке состояния пути (КОСП) [124], в работе предлагается рассмотреть следующие из них:

1. В зависимости от стадии жизненного цикла пути в период между ремонтами предлагается следующая дифференциация:

1 - участки, находящиеся в стадии стабилизации пути после ремонта (тоннаж менее 350 млн т бр.);

2 - участки, находящиеся в стадии стабильной работы пути;

3 – участки, находящиеся в стадии интенсивного роста расстройств.

2. В зависимости от сезонных условий можно разделить на:

1 – зимний период (стабильный, работы по сплошной выправке пути не проводятся);

2 - межсезонный период (весна, осень) – период возможного резкого ухудшения состояния пути;

3 – стабильный период (лето).

3. В зависимости от формы организации работ предлагается следующая дифференциация:

1- работы оперативного характера по устранению отдельных отступлений и неисправностей на коротких фронтах;

2 - выправочные работы локального характера (на длине 100-300 м);

3 - выправочные работы сплошного характера (на длине до 1500 м).

Порядок выбора форм организации технического обслуживания пути с учетом вышеприведенных факторов приведен в приложении В.

Разработанная система позволяет дифференцировать порядок назначения работ на особогрузонапряженных линиях с учетом местных условий эксплуатации и форм организации работ (сплошная выправка, локальная или точечная).

5.2 Вариант организации выправочных работ в створовые «окна» на участках интенсивного грузового движения и технико-экономическая оценка его применения

Как отмечалось выше, в зависимости от распределения количества отступлений по длине участка заданной длины (километра, пикета), а также в соответствие с действующими критериями назначения выправочных работ по нормативам, для оздоровления участка пути (перегона) можно выделить три варианта формы организации выправочных работ:

- участки, требующие сплошной выправки длиной до 1500 м;
- участки, требующие локальной выправки длиной 100-200 м;
- участки, требующие точечной выправки в отдельных местах.

Проведение выправочных работ по классической схеме – на три фронта в три «окна» (например, 6 часовое «окно» для работ по сплошной выправке и два «окна» по 3 ч и 2 ч для работ по локальной и точечной выправке одной машиной), приводит к росту потерь поездо-часов из-за задержек поездов на время производства работ.

В условиях особогрузонапряженных линий с высокой плотностью поездопотока потери поездо-часов в связи с выделением «окон» в графике движения для производства выправочных работ являются весьма значительными.

С целью сокращения количества «окон» и уменьшения, тем самым, потерь перевозочного процесса, как наиболее дорогостоящего показателя, за счет перераспределения количества машин и их концентрации в зависимости от плотности распределения отступлений и неисправностей по длине участка

заданной длины, предлагается вариант организации выправочных работ для оздоровления участка пути длиной в перегон тремя комплексами машин в створовые «окна» продолжительностью 4 часа (и одно дополнительное «окно» 2 часа для выгрузки щебня) одновременно на нескольких фронтах.

В качестве примера предлагается рассмотреть участок пути (перегон) длиной 20 км.

По результатам обработки информации о состоянии пути с вагонов-путеизмерителей с учетом плотности распределения отступлений по длине участка и анализа стабильности участков пути во времени (определяющей приоритет в назначении работ в тех или иных местах) на опытном участке определяются места, требующие проведения работ:

- на коротких фронтах (до 50 м);
- на средних (100-300 м) и больших фронтах (до 1500 м).

В рассматриваемом примере это:

первый участок длиной 1300 м (фронт сплошной выправки);

второй участок длиной 5000 м, на котором выявлены два локальных места (по 200 м каждое) (фронты локальной выправки);

третий участок длиной 10 000 м, на котором выявлены четыре точечных места (по 50 м каждое) (фронты точечной выправки).

Схема распределения отступлений по длине перегона приведена на рисунке 5.1.

Принимаем, что работы на участке сплошной выправки выполняются более производительной машиной Duomatic 09-32, а на участках локальной и точечной выправки – двумя менее производительными машинами ВПР-02.

Порядок организации работ на первом этапе включает проведение подготовительных работ. Подготовительные работы выполняются без перерыва в движении поездов.

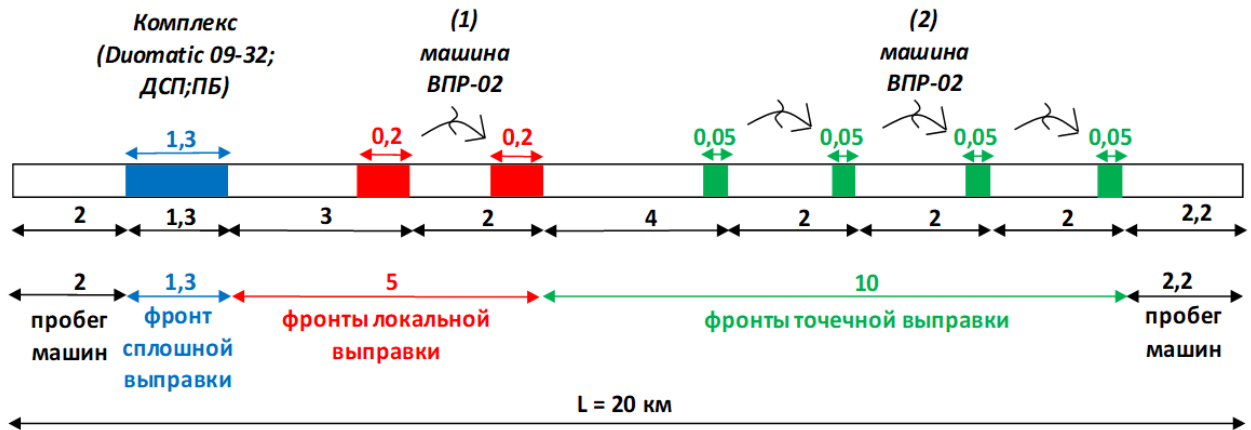


Рисунок 5.1 – Схема распределения участков выправочных работ тремя комплексами машина на примере перегона длиной 20 км в створовое «окно» продолжительностью 4 часа

Согласно [6], в качестве сопутствующих работ при планово-предупредительной выправке пути выполняются:

- снятие накопившихся в процессе текущего содержания пути пучинных подкладок на пути с деревянными шпалами и регулировочных прокладок на железобетонных;
 - очистка рельсов и креплений от грязи;
 - подрезка балласта под подошвами рельсов и в шпальных ящиках;
 - уборка засорителей с поверхности балластной призмы;
 - регулировка или разгонка стыковых зазоров на участках звеньевого пути;
 - закрепление ослабших ниже норматива прикрепителей в узлах промежуточных креплений на железобетонных шпалах;
 - добивка костылей и поправка противоугонов на звеньевого пути с деревянными шпалами;
 - сварка мест временного восстановления плетей;
- другие работы (если они требуются).

На следующем этапе выполняются основные работы по выправке пути.

Для производства основных работ на станции формируется машинный комплекс, состоящий из путевых машин:

- выправочных машин:

ВПП-02 (2 шт.), Duomatic 09-32 (1 шт.);

- динамического стабилизатора ДСП

- планировщика балласта ПБ.

Отправление комплекса машин на перегон и обратно осуществляется в соответствии с Приказом Минтранса России от 23.06.2022 № 250 «Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации». При отправлении комплекса машин на перегон машинисту каждого поезда выдается предупреждение об остановке на перегоне в месте, указанном в заявке руководителя работ.

С целью уменьшения времени на производство основных работ, принимаем, что в местах подъёмки пути предварительно в дополнительное «окно» проводится выгрузка чистого щебня хоппер-дозаторами с дозированной выгрузкой щебня ВПМ-770 [56].

Работа основных комплексов выполняется в «окно» продолжительностью 4 ч.

Таким образом, суммарная продолжительность времени на производство работ по предлагаемому варианту – 6 часов.

График производства подготовительных и основных работ по дням на перегоне длиной 20 км в створовое «окно» 4 часа приведен на рисунке 5.2 (условные обозначения приведены в таблице 5.1).

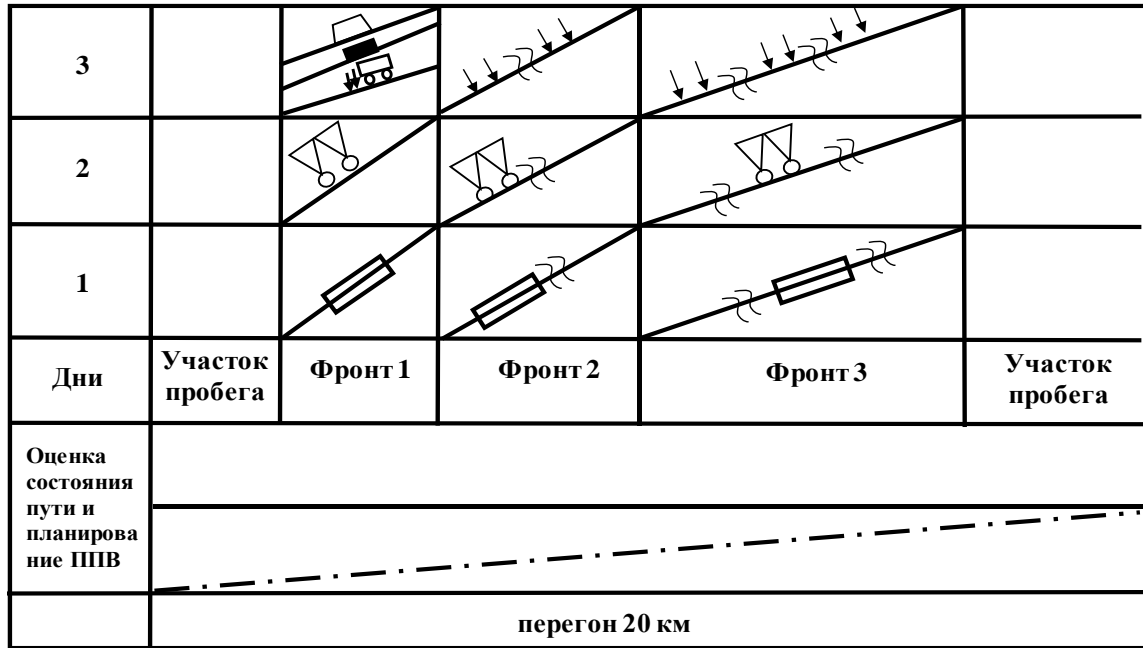


Рисунок 5.2 – График производства работ по дням

Таблица 5.1 – Условные обозначения к рисунку 5.2

Дни	Условное обозначение	Работы
Оценка состояния пути и на ее основе планирование выправочных работ		Оценка состояния пути вагоном-путьеизмерителем
		Выявление мест, требующих проведения работ (с учетом плотности распределения отступлений и неисправностей по длине перегона): <ul style="list-style-type: none"> • участки, требующие сплошной выправки; • участки, требующие локальной выправки; • участки, требующие точечной выправки
1 день		Выполнение, при необходимости, подготовительных работ на фронтах ремонта без перерыва в движении поездов.
2 день		В короткое «окно» выгрузка щебня из хоппер-дозаторов ВПМ-770 в местах подъёмки пути
3 день		Выполнение основных работ в «окно» 4 часа: выправка пути машиной Duomatic 09-32 выправка пути машинами ВПР-02 стабилизация пути машиной ДСП отделка балластной призмы машиной ПБ

Для заданных условий схемы формирования рабочих поездов на станции и на перегоне представлены на рисунках 5.3 и 5.4.

Рабочий поезд №1 - Тепловоз, турный вагон, хоппер-дозаторные вагоны

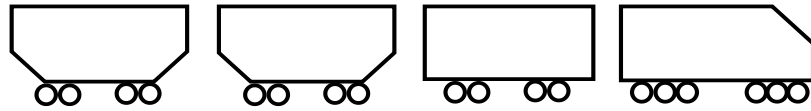


Рисунок 5.3 - Схема формирования рабочих поездов во 2 день

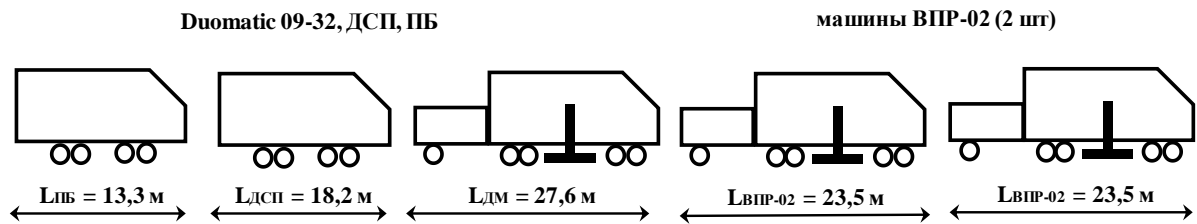


Рисунок 5.4 - Схема формирования рабочих поездов в 3 день на станции

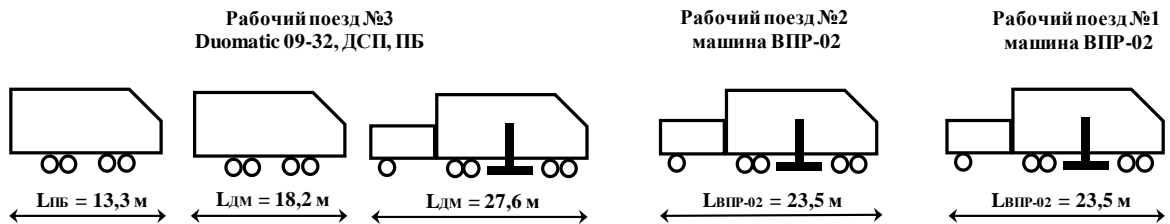


Рисунок 5.5 - Схема формирования рабочих поездов в 3 день на перегоне

На рисунке 5.6 приведен общий вид технологического процесса выправки пути на 3 фронта в створовое «окно» 4 часа.

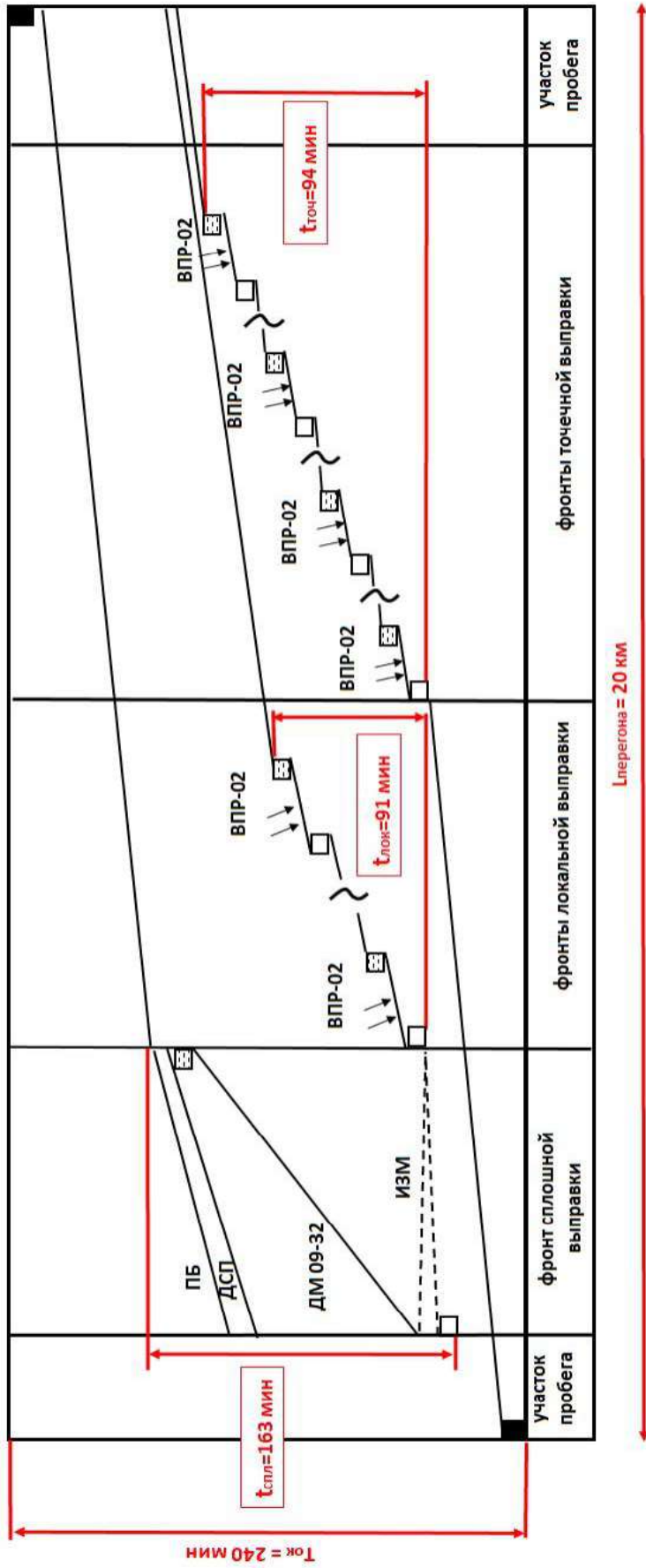



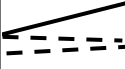
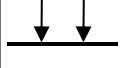



Рисунок 5.6 – Схема технологического процесса выправки пути на 3 фронта в створовое «окно» 4 часа

Примечание:

Время, требуемое для проведения работ по сплошной, локальной или точечной выправки пути, рассчитано в соответствии с принятой протяженностью фронтов работ, а также участков пробега машин к месту работ. В зависимости от местных условий это время будет различно.

Условные обозначения к рисунку 5.6

Условные обозначения:	
	оформление закрытия (открытия) перегона - 10 минут
	приведение машин ВПР (Дуоматик) в рабочее положение
	приведение машин ВПР (Дуоматик) в транспортное положение
	выправка пути машиной Дуоматик с измерительной поездкой
	выправка пути машинами ВПР-02
	пробег машин

Экономический эффект от предлагаемого варианта организации выправочных работ в работе предлагается оценивать с точки зрения сокращения потерь перевозочного процесса как наиболее дорогостоящего показателя, за счет уменьшения количества и суммарной продолжительности «окон» для производства работ. Суммарная стоимость машиносмен при организации работ по классической схеме (на три фронта в три «окна») и предлагаемой схеме (в одно основное и одно дополнительное «окно») принимается постоянной величиной, т.к. фронт работ в обоих случаях одинаков.

При определении потерь перевозочного процесса от предоставления «окон» для производства выправочных работ было принято, что во время «окна» организация пропуска поездов по соседнему пути на двухпутном перегоне не осуществляется.

Это обусловлено тем, что в условиях высокой плотности поездопотока при пропуске поездов по соседнему пути с ограничением скорости и интервале пропуска поездов в среднем 10 минут, в «окно» 4 часа можно организовать пропуск по временно однопутному перегону не более 12 пар поездов, что при пропускной способности 100 и более пар поездов в сутки экономически не является эффективным, т.к. вызывает соответствующие потери и на соседнем пути.

Расчет потерь перевозочного процесса от предоставления «окон» выполнен для двух вариантов организации выправочных работ: по существующей схеме на три фронта в три «окна» суммарной продолжительностью 11 часов и по предлагаемой схеме на трех фронтах одновременно в одно «окно» продолжительностью 6 часов (основное и дополнительное «окно») для условий аналогичных Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры при пропускной способности 100 поездов в сутки по грузовому пути.

При стоимости поезд-часа простоя грузового поезда в условиях Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры, согласно [125] – 2 452,14 руб./час, стоимость задержки 1-го поезда от трех «окон» продолжительностью 6 ч, 3 ч и 2 ч (суммарно 11 ч) составит:

$$C_{\text{пч 1 поезд}} = 2\,452,14 * 11 = 26\,973,5 \text{ руб}$$

При пропускной способности 100 поездов в сутки по грузовому пути, за 11 часов количество обрабатываемых поездов составит: 45 поездов.

Тогда, при закрытии перегона на «окно» стоимость поезд-часов простоя 45 поездов составит:

$$C_{\text{пч 45 поездов}} = 26\,973,5 * 45 = 1\,213,8 \text{ тыс. руб}$$

Определим стоимость задержки 1-го поезда от одного «окна» продолжительностью 6 часов (согласно второму предлагаемому варианту):

$$C_{\text{пч 1 поезд}} = 2\,452,14 * 6 = 14\,712,8 \text{ руб}$$

При пропускной способности 100 поездов в сутки по грузовому пути, за 6 часов количество обрабатываемых поездов составит: 25 поездов.

Тогда, стоимость поезд-часов простоя 25 поездов составит:

$$C_{\text{пч 25 поездов}} = 14\,712,8 * 25 = 367,8 \text{ тыс. руб.}$$

Графически диаграмма распределения стоимости потерь перевозочного процесса при существующем способе ППВ (планово-предупредительной выправки пути) в три «окна» и предлагаемом способе ППВ в одно «окно» в условиях Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры при плотности поездопотока 100 поездов в сутки по грузовому пути приведена на рисунке 5.7.

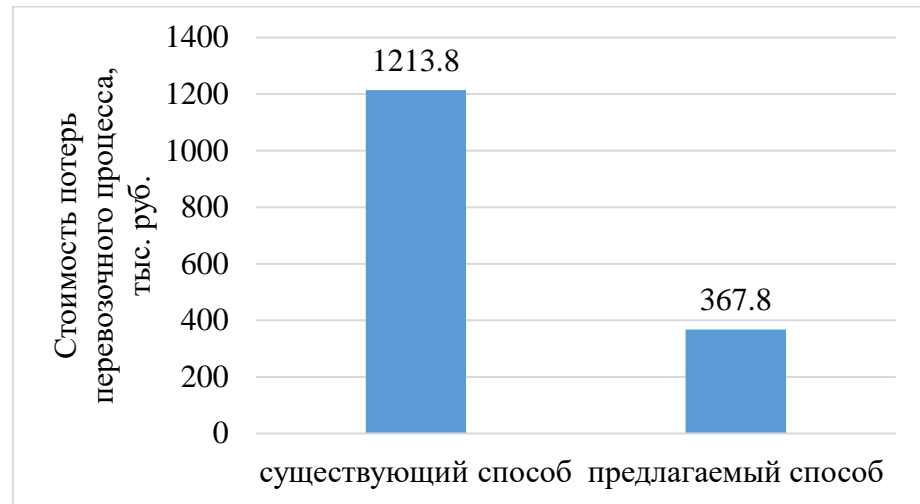


Рисунок 5.7 – Диаграмма распределения стоимости потерь перевозочного процесса при существующем способе выправки пути в три «окна» и предлагаемом способе выправки пути в одно «окно» при пропускной способности участка 100 поездов в сутки по грузовому пути

Определим стоимость потерь перевозочного процесса для различной пропускной способности участка.

Результаты расчетов для двух вариантов организации выправочных работ сведены в таблицы 5.2-5.3.

Таблица 5.2 – Потери перевозочного процесса при организации выправочных работ по существующей схеме в три «окна»

Пропускная способность, поездов по одному пути	Количество поездов, задержанных по одному пути при «окне» суммарной продолжительностью 11 часов	Стоимость задержки поездов, тыс. руб.
120	55	1483,5
100	45	1213,8
80	36	971,0
60	27	728,3
40	18	485,5
20	9	242,8

Таблица 5.3 – Потери перевозочного процесса при организации выправочных работ по предлагаемой схеме в одно основное и одно дополнительное «окно»

Пропускная способность, поездов по одному пути	Количество поездов, задержанных по одному пути при «окне» продолжительностью 6 часов	Стоимость задержки поездов, тыс. руб.
120	30	441,4
100	25	367,8
80	20	294,3
60	15	220,7
40	10	147,1
20	5	73,6

Проведенные расчеты показали, что количество задержанных поездов по причине предоставления «окон» для выправочных работ, а также стоимость их задержек, возрастают при увеличении пропускной способности участка. Наиболее существенны потери перевозочного процесса при пропускной способности более 80 поездов в сутки по одному пути, что характерно для условий особогруженапряженных линий.

Для оценки эффективности предлагаемого способа организации выправочных работ при различной грузонапряженности, на следующем этапе был проведен расчет потерь перевозочного процесса в зависимости от грузонапряженности участка.

Принимая, что при плотности поездопотока более 40 поездов в сутки средний вес поезда составляет 5000 т, а при меньшей плотности поездопотока – 4000 т, потери перевозочного процесса для двух вариантов организации выправочных работ при различной грузонапряженности участков приведены на рисунке 5.8.

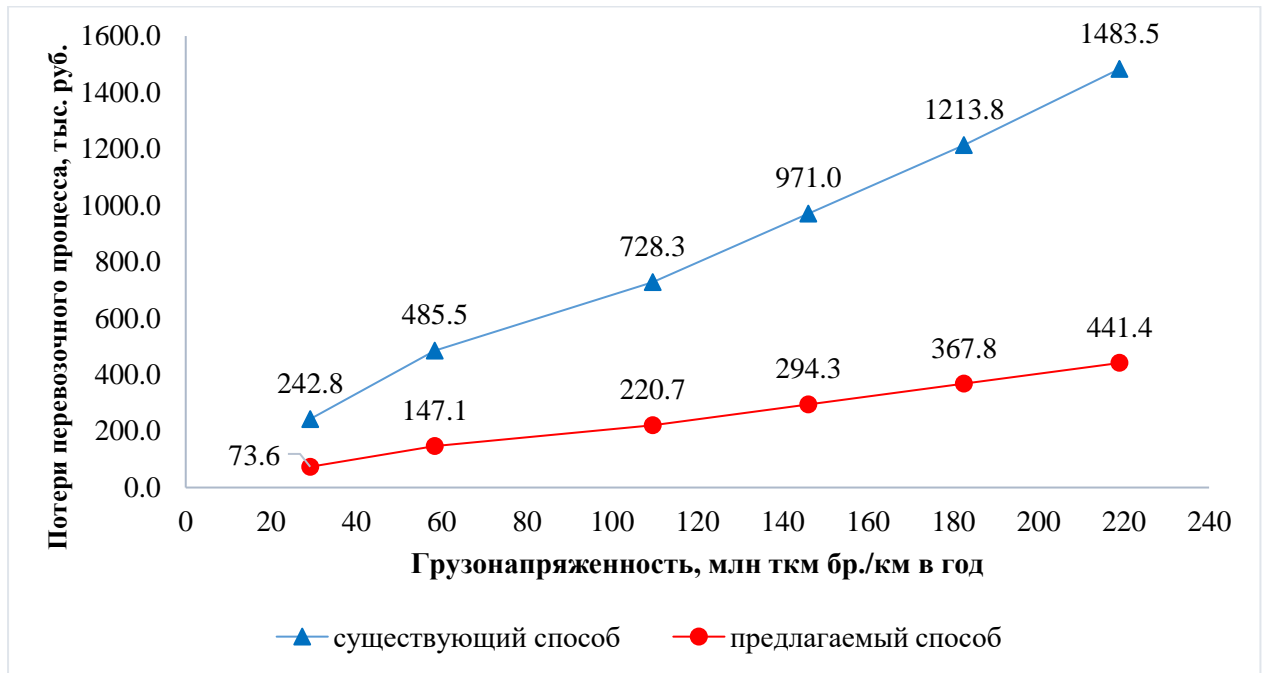


Рисунок 5.8 – Потери перевозочного процесса при двух способах организации выправочных работ и различной грузонапряженности

Из рисунка следует, что при существующем способе организации выправочных работ в три «окна» потери перевозочного процесса резко возрастают при увеличении грузонапряженности на участке.

Это означает, что в условиях высокой грузонапряженности экономически эффективнее минимизировать потери перевозочного процесса за счет сокращения количества «окон», что и предлагается в разработанном варианте организации выправочных работ.

Экономия от внедрения предлагаемого варианта складывается из сокращения потерь перевозочного процесса при различной грузонапряженности участков – рисунок 5.9.

Как следует из рисунка 5.9, экономия от внедрения предлагаемого варианта возрастает при грузонапряженности более 100 млн ткм бр./км в год, и снижается на участках с низкой грузонапряженностью.

Это означает, что на участках с низкой грузонапряженностью проведение работ в три (или несколько) «окон» не приведет к столь значительным экономическим потерям, как на участках с высокой грузонапряженностью.

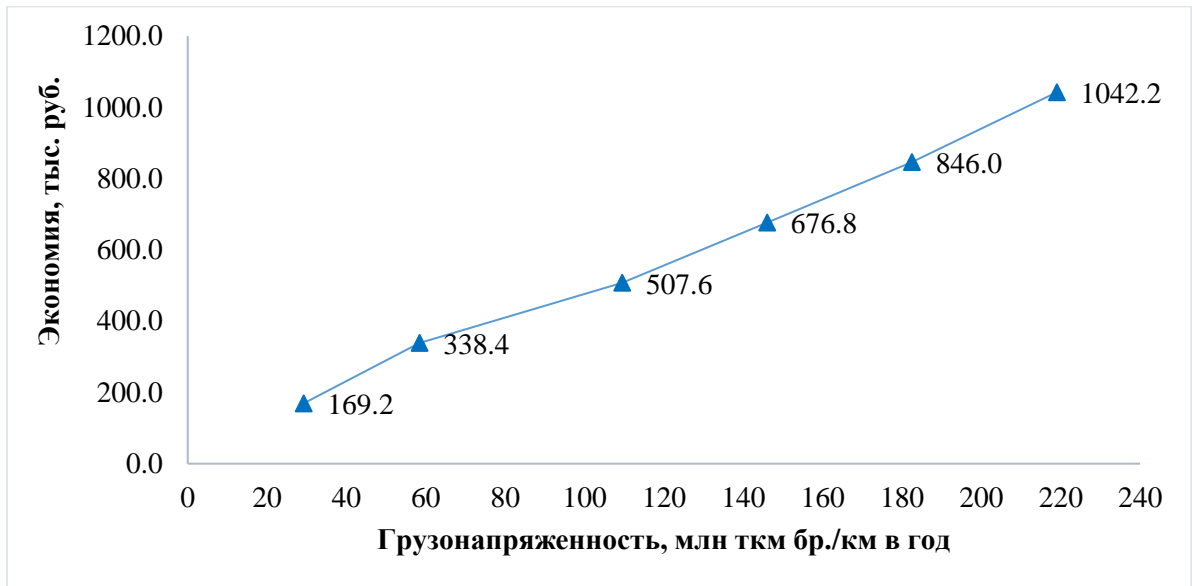


Рисунок 5.9 – Экономия от внедрения предлагаемого способа организации выправочных работ

Таким образом, технико-экономический эффект от внедрения предлагаемого способа организации выправочных работ за счет перераспределения количества машин и сокращения тем самым количества «окон» тем выше, чем выше грузонапряженность на участке. Суммарная экономия на участке заданной длины (перегоне) от внедрения предлагаемого метода определяется количеством мест, требующих проведения сплошной, локальной и точечной выправки.

Выводы по главе 5

В современных условиях эксплуатации особогрузонапряженных линий при высокой плотности поездопотока, выделение дополнительных «окон» в графике движения для производства профилактических работ приводит к значительным экономическим потерям перевозочного процесса в связи с задержкой поездов на время проведения работ. С целью минимизации воздействия на перевозочный процесс при одновременном выполнении требуемых объемов работ, возникает необходимость совершенствования системы не только планирования, но и организации выправочных работ.

Результаты исследования по совершенствованию порядка организации работ в условиях линий с высокой грузонапряженностью и плотностью поездопотока, проведенного в настоящей главе работы, позволили сформулировать следующие выводы:

1. Для решения поставленных задач в работе разработана и предложена система организации технического обслуживания пути на особогрузонапряженных линиях и линиях «ГІ» с учетом условий эксплуатации и форм организации работ (сплошная, локальная или точечная выправка пути);

2. Для снижения потерь перевозочного процесса в условиях особогрузонапряженных линий разработан и предложен вариант организации выправочных работ для оздоровления участка пути длиной в перегон в створовое «окно» продолжительностью 4 часа (и дополнительное «окно» 2 часа для выгрузки щебня) одновременно на нескольких фронтах за счет перераспределения числа машин и их концентрации в зависимости от плотности распределения отступлений и неисправностей по длине участка заданной длины.

3. Результаты расчета технико-экономического эффекта от внедрения предлагаемого варианта организации выправочных работ для участков с различной грузонапряженностью показали, что экономия потерь перевозочного процесса от внедрения предлагаемого варианта за счет сокращения количества «окон» возрастает при грузонапряженности более 100 млн ткм бр./км в год и для условий,

например, Восточного полигона составляет 846,0 тыс. руб. на один развернутый фронт работ;

Суммарная экономия на участке заданной длины (перегоне) от внедрения предлагаемого варианта определяется количеством мест, требующих проведения сплошной, локальной и точечной выправки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования получены следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Обобщены результаты научных исследований по совершенствованию системы организации и планирования выправочных работ на участках с высокой грузонапряженностью (специализации «О» и «Г»), основанной на многовариантном прогнозе изменения показателей, характеризующих состояние пути;
2. Раскрыты закономерности накопления общих расстройств пути на различных стадиях жизненного цикла в условиях особогрузонапряженных линий и интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в различных условиях эксплуатации на сети;
3. Изложены основные положения способа двухкомпонентной статистической оценки стабильности участка пути по параметрам, одновременно распределенным по длине и во времени (по тоннажу);
4. Установлены закономерности изменения показателей стабильности участка пути по параметрам, распределенным по длине и во времени (пропущенному тоннажу), на базе разработанного способа;
5. Доказано влияние условий эксплуатации и системы организации технического обслуживания на появление и развитие общих расстройств пути;
6. Получены и предложены дополнительные критерии определения потребности в работах оперативного характера на основании положений теории выбросов случайных процессов с учетом темпа прироста амплитуд отдельных неровностей;
7. Создана методология многовариантного прогноза состояния пути на среднесрочный период в зависимости от схемы организации технического обслуживания на конкретном участке и стадии жизненного цикла пути;
8. Предложена система организации выправочных работ в створовые «окна» одновременно на нескольких фронтах;

9. Введены в нормативную документацию (Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 03.02.2023 г. №234/р)) положения о необходимости прогноза состояния пути при определении потребности в работах по техническому обслуживанию пути и предложения по уточнению критериев назначения профилактической выправки пути на особогрузонапряженных линиях (п. 5.10 и Таблица 6.5 вышеуказанных Правил);

10. Разработан и введен в нормативную документацию порядок определения сроков диагностики геометрических параметров рельсовой колеи с учетом фактической интенсивности роста неровностей (Методика определения периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи, утвержденной Центральной дирекцией инфраструктуры 27 декабря 2021 г. № ЦДИ-1103/р);

11. Рекомендуются внедрение предлагаемого варианта организации выправочных работ в створовые «окна» на участках со сверхвысокой грузонапряженностью и плотностью поездопотока, технико-экономический эффект от внедрения которого составил для условий, например, Восточного полигона - 846,0 тыс. руб. на один развернутый фронт работ;

12. Перспективой дальнейшей разработки темы исследования является определение вариантов использования планово-предупредительной выправки в общей системе технического обслуживания пути для продления межремонтных периодов в различных условиях эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Третьяков, В.В.** Воздействие на путь вагонов с повышенной осевой нагрузкой / В.В. Третьяков, В.О. Певзнер, И.Б. Петропавловская, Т.И. Громова, И.В. Третьяков, К.В. Шапетько, И.С. Смелянская, А.С. Томиленко // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). – 2016. – Т. 75. – №. 4. – С. 233-238;
2. **Шапетько, К. В.** Исследования накопления деформаций железнодорожного пути на участке испытаний вагонов с осевой нагрузкой 27 тс // Вестник ВНИИЖТ. – 2017. – Т.76. – № 4. – С. 238-242;
3. **Певзнер, В.О.** Исследование причин повреждаемости рельсов поверхностными дефектами на участках обращения электровозов 2ЭС10. Часть 1 / В. О. Певзнер, Р. А. Баронайте, В. В. Кочергин, М.В. Худорожко, С.Н. Прокофьев, А.А. Акишин, Н.Б. Никифорова, Е.А. Шур, К.Л. Заграничек, И.Е. Перков // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2023. – № 1(61). – С. 36-41;
4. **Певзнер, В.О.** Исследование причин повреждаемости рельсов поверхностными дефектами на участках обращения электровозов нового поколения 2ЭС10. Часть 2 / В. О. Певзнер, Р. А. Баронайте, В. В. Кочергин, М.В. Худорожко, С.Н. Прокофьев, А.А. Акишин, Н.Б. Никифорова, Е.А. Шур, К.Л. Заграничек, И.Е. Перков // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2023. – № 2(62). – С. 56-61;
5. **Певзнер, В.О.** Воздействие на путь электровозов с асинхронными двигателями / В. О. Певзнер, Т. И. Громова, И. Б. Петропавловская, Р.А. Баронайте, О.В. Голубев, В.В. Третьяков, И.В. Третьяков, А.Ю. Слостенин // Путь и путевое хозяйство. – 2022. – № 11. – С. 2-5;
6. Правила назначения ремонтов железнодорожного пути. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 03.02.2023 г. №234/р). Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);

7. **Шахунянец, Г.М.** Задачи текущего содержания пути. - М.: Трансжелдориздат, 1945;
8. **Певзнер, В.О.** Основы ведения путевого хозяйства / В.О. Певзнер: уч.пос. – М.: МИИТ, 2011. – 54 с.;
9. Правила содержания и охранения паровозных железных дорог, открытых для общественного пользования, утвержденные министром путей сообщения 15 января 1883 года. - 2-е изд. - Санкт-Петербург: Изд. А.Е. Рябченко, 1884. – 70 с.
10. **Бачманов, С.П.** Попикетный ремонт пути. (С приложением рабочего графика 4 участка Полесских жел. дор. в 1893 году). Вильна, типография А.Г. Сыркина, 1909;
11. **Крейнис, З.Л.** Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути: учебник / З. Л. Крейнис, Н. П. Коршикова. — Москва: Издательство УМК МПС России, 2001. — 768 с.;
12. Народный комиссариат путей сообщения. Об улучшении текущего содержания пути и установления классификации путейских работ (по реконструкции, капитальному и среднему ремонту) [Текст]: Приказ нар. комиссара пут. сообщ. № 79/Ц 28 мая 1936 г. - Москва: Трансжелдориздат, 1939. – 56 с.;
13. Положение о проведении планово-предупредительного ремонта верхнего строения пути, земляного полотна и искусственных сооружений железных дорог Союза ССР [Текст]: [Утв. 5/V 1964 г.] / Гос. ком. по делам строительства СССР «Госстрой СССР». - Москва: Стройиздат, 1964. – 46 с.;
14. Положение о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах Российской Федерации. Утверждено Приказом МПС России от 16 августа 1994 г. № 12-Ц (в ред. указания МПС РФ от 08.12.1995 №132у). Текст: электронный: [сайт]. URL: <https://www.tdesant.ru/info/item/58>;
15. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути. Утверждены МПС РФ №ЦПТ-53 от 30 сентября 2003 г. (в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 25.11.2011 г. №2538/р).Текст: электронный: [сайт]. URL: <https://www.tdesant.ru/info/item/14>;

16. Временное положение о проведении усиленного подъемочного ремонта пути. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 6 августа 2004 г. №3072/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);

17. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 02 мая 2012 г. №859/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);

18. Методика классификации железнодорожных линий. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 1 июля 2009 г. №1393/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);

19. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 18 января 2013 г. №75/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);

20. Положение об организации комплексного обслуживания объектов инфраструктуры хозяйства пути и сооружений. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 29 ноября 2019 г. №2675/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);

21. **Золотарский, А.Ф.** Нормы межремонтного тоннажа для производства среднего и капитального ремонта пути в зависимости от типов верхнего строения / А.Ф. Золотарский, С.Н. Попов // Проект – М.: ВНИИЖТ, 1950. – 29 с.;

22. **Цуканов, П.П.** Исследование упругих и остаточных осадок шпал. - М.: Трансжелдориздат, 1957. – 133 с.;

23. **Кондаков, Н.П.** О межремонтных нормах / Н.П. Кондаков, Л.К. Громов // Путь и путевое хозяйство. – 1961. – № 1;

24. **Кондаков, Н.П.** Об оценке стойкости рельсов / Н.П. Кондаков // Путь и путевое хозяйство. – 1976. – № 10;

25. **Антонов, Ф.И.** Организация механизированного текущего содержания пути / Ф.И. Антонов, А.И. Закаталова, В.Н. Стельмашов, В.Ф. Федулов, М.Т. Членов // Тр. ВНИИЖТ. Вып.303. – М.: Транспорт, 1966. – С.78-88;
26. **Лысюк, В.С.** Методика расчета эквивалентных поездных нагрузок на путь / В.С. Лысюк // Вестник ЦНИИ. – 1973. – №5. – С.17-21;
27. **Ершков, О.П.** Анализ накопления остаточных деформаций рельсовых нитей в плане и профиле / О.П. Ершков, А.А. Ильяшенко, Е.Д. Ткачев, Б.С. Шинкарев // Исследования накопления расстройств рельсовой колеи железнодорожного пути: Сб. научн. тр. ВНИИЖТ. Вып. 628. – М.: Транспорт, 1980. – С. 50-67;
28. **Семерханов, В.В.** Интенсивность накопления остаточных деформаций пути в период между двумя капитальными ремонтами / В.В. Семерханов // Скорости движения поездов в кривых: Сб. научн. тр. – М.: Транспорт, 1988. – С.87-92;
29. **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: Сб. научн. тр. ВЗИИТ. Вып. 99. – М.: 1979. – С. 5-13;
30. **Тихомиров, В.И.** Дифференциация норм одиночного изъятия рельсов в год перед капитальным ремонтом пути / В.И. Тихомиров // Оптимизация норм устройства и содержания рельсовой колеи: Сб. научн. тр. ВЗИИТ. Вып. 78. – М.: 1975. – С. 5-18;
31. **Тихомиров, В.И.** К вопросу исследования структурных форм организации текущего содержания пути на железных дорогах / В.И. Тихомиров, Г.В. Петропавловская // Оптимизация норм устройства и содержания рельсовой колеи: Сб. научн. тр. ВЗИИТ. Вып. 78. – М.: 1975. – С. 37-44;
32. **Крейнис, З.Л.** Моделирующий алгоритм имитационной модели функционирования железнодорожного пути / З.Л. Крейнис // Оптимизация норм устройства и содержания рельсовой колеи: Сб. научн. тр. ВЗИИТ. Вып. 78. – М.: 1975. – С. 19-26;

33. **Крейнис, З.Л.** Состояние железнодорожного пути. Методы определения, анализа и прогнозирования [Учеб. пособие] / З. Л. Крейнис; Всесоюз. заоч. ин-т инженеров ж.-д. трансп. - Москва: Б. и., 1988. – 40 с.;
34. **Шахунянц, Г.М.** Железнодорожный путь. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 596 с.;
35. **Вериго, М.Ф.** Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган; Под ред. М. Ф. Вериго. - Москва: Транспорт, 1986. – 558 с.;
36. **Шац, Э. Я.** Методика оптимального планирования капитального ремонта пути в пределах железной дороги: автореферат ... кандидата технических наук: 05.22.06 / Шац Эдуард Яковлевич. – Всесоюзный Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – Москва, 1981. – 22 с.;
37. **Лосев, А.Г.** ЭВМ планирует ремонт / А.Г. Лосев, Э.Я. Шац // Путь и путевое хозяйство. – 1975. – № 1;
38. **Скворцов, О.С.** Техническая диагностика надежности и срока службы рельсов / О.С. Скворцов, Ю.Ф. Шварц, А.Ф. Грачев // Вестник ВНИИ. – 1969. – №4;
39. **Каменский, В.Б.** Совершенствование системы ведения путевого хозяйства в современных условиях работы железных дорог: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.22.06 / Каменский Владимир Борисович. - Рос. гос. открыт. техн. ун-т путей сообщ. - Москва, 2005. – 48 с.;
40. **Карпущенко, Н.И.** Использование информации о состоянии верхнего строения пути для оценки его надежности, планирования ремонтов и прогнозирования изменения его состояния / Н.И. Карпущенко // Межвуз. сб. научн. тр. НИИЖТ. – 1989. – С.5-14;
41. **Филиппов, В.М.** Управление техническим состоянием верхнего строения пути. Основные понятия: Учебное пособие. – Куйбышев: КИИТ, 1989. – 70 С.;

42. **Рыбкин, В.В.** Оптимизация системы ведения путевого хозяйства в новых условиях эксплуатации железных дорог Украины: диссертация ... д-ра техн. наук: 05.22.06 / Рыбкин Виктор Васильевич. - Днепропетровский гос. технический ун-т железнодорожного транспорта. - Д., 1999. – 416 с.;
43. **Певзнер, В.О.** Совершенствовать планирование путевых работ / В.О. Певзнер // Путь и путевое хозяйство. – 1993. – №. 9. – С. 10-12;
44. **Певзнер, В.О.** Проблемы контроля состояния пути на современном этапе / В.О. Певзнер, Ю.С. Ромен // Железнодорожный транспорт. – 1994. – №2. – С. 34-36;
45. **Ефимов, А.Н.** Использование спектральных характеристик неровностей для оценки состояния пути / А.Н. Ефимов, С.В. Малинский, В.О. Певзнер // Межвуз. сб. научн. тр. ДИИТ. 1989. – С.61-68;
46. **Третьяков В. В.** Влияние характеристик подбалластного основания на интенсивность накопления расстройств пути в вертикальной плоскости: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.22.06 / Третьяков Василий Владимирович. – Науч.-исслед. ин-т железнодорожного транспорта. – Москва, 2008. - 23 с.;
47. **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 Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2013. – № 4. – С. 44-48;
48. **Сеньковский, А.А.** Интенсивность накопления деформаций и совершенствование системы диагностики железнодорожного пути: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.22.06 / Сеньковский Алексей Альфредович. - М-во путей сообщения РФ. Моск. гос. ун-т путей сообщения (МИИТ). - Москва, 2000. - 29 с.;
49. **Певзнер, В.О.** Организация технического обслуживания пути: учебное пособие / В. О. Певзнер, В. М. Прохоров; Российский гос. открытый технический ун-т путей сообщ. - Москва: РГОТУПС, 2007. – С. 131;

50. **Певзнер, В.О.** Сроки выправки пути / В.О. Певзнер, В.М. Прохоров // Путь и путевое хозяйство. – 2002. – № 6. – С. 13-15;
51. **Мишин, В.В.** Прогнозирование состояния пути. Проблемы и решения / В.В. Мишин // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – №7. – С. 2-6;
52. **Бельтюков, В. П.** Среднесрочное планирование ремонтов верхнего строения / В. П. Бельтюков // Путь и путевое хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 23-25;
53. **Бельтюков, В. П.** Оптимизация системы содержания верхнего строения железнодорожного пути / В. П. Бельтюков // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – Т. 13. – № 2(47). – С. 112-120;
54. **Атапин, В. В.** Анализ состояния железнодорожного пути в вертикальной плоскости / В. В. Атапин, С. А. Начаров // Наука и образование транспорту. – 2019. – № 2. – С. 127-132;
55. **Атапин, В. В.** Исследование деградиционных процессов геометрии рельсовой колеи - путь к прогнозированию состояния верхнего строения пути / В. В. Атапин, А. С. Нечушкин // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 2(92). – С. 31-37.
56. **Сычев, В.П.** Об автоматизированной системе технического обслуживания железнодорожного пути / В.П. Сычев // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – №3. – С.49-52;
57. **Щепотин, Г. К.** Управление техническим состоянием пути в условиях модернизации Восточного полигона / Г. К. Щепотин // Путь и путевое хозяйство. – 2022. – № 3. – С. 35-37;
58. **Гринь, Е. Н.** Планирование капитального ремонта пути по показателям надёжности и уровней риска элементов путевой инфраструктуры / Е. Н. Гринь // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. – 2018. – Т. 12, № 12(12). – С. 170-174;
59. **Гапоненко, А. С.** Подходы в планировании планово-предупредительной выправки и оценка состояния пути / А.С. Гапоненко, М.В. Бушуев // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 1. — С. 7-16;

60. **Голубев, О. В.** Повышение эффективности мониторинга рельсовой колеи / О. В. Голубев // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 10. – С. 24-28;
61. **Коссов, В.С.** Воздействие длинносоставных поездов на путь / В.С. Коссов, А.А. Лунин, Ю.А. Панин, А.В. Трифонов, И.Е. Ильин // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – Т. 75. №4. – С. 224–232;
62. **Коссов, В.С.** Лубрификация рельсов и воздействие на путь подвижного состава / В. С. Коссов, Ю. А. Панин, А. В. Трифонов [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 7. – С. 48-51;
63. **Коссов, В.С.** Оценка воздействия на путь грузовых вагонов с осевыми нагрузками 23.5 и 25 тс / В. С. Коссов, А. А. Лунин, О. Г. Краснов, А. В. Спиров // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 3. – С. 63-68;
64. **Поляков, Н.М.** Система технического обслуживания пути в условиях структурной реформы железнодорожного транспорта на опыте Приволжской железной дороги: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.22.06 / Поляков Николай Михайлович. – Рос. гос. открыт. техн. ун-т путей сообщ. - Москва, 2002. - 23 с.;
65. **Шеронова, Т.Н.** Совершенствование системы технического обслуживания пути с целью увеличения межремонтного ресурса: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.22.06 / Шеронова Тамара Николаевна. - Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. - Москва, 2008. - 24 с.;
66. **Дворников, А.В.** Выявление нестабильных участков пути и прогнозирование их состояния: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.22.06 / Дворников Андрей Владимирович. - Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. - Москва, 2008. - 24 с.;
67. **Державин, А.Н.** Моделирование технического состояния пути при наработке тоннажа выше нормативного / А.Н. Державин, Н.Н. Лысенко, Н.И. Коваленко // Мир транспорта. – 2018. - №16(1). – С.164-183;
68. **Асалханова, Т. Н.** Повышение качества планирования и организации работ по текущему содержанию железнодорожного пути / Т. Н. Асалханова, А. А.

Осколков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2023. – № 1(77). – С. 73-82;

69. **Севостьянов, А.А.** Моделирование организации технологических процессов по содержанию геометрии рельсовой колеи / А.А. Севостьянов, Д.В. Величко // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВЕСТНИК ВНИИЖТ). – 2023. - №82(2). – С. 168-176;

70. **Авсиевич, А. В.** Определение напряженно-деформированного состояния элементов железнодорожного пути на основе измерения ускорений и математического моделирования / А. В. Авсиевич, Д. В. Овчинников // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 1(91). – С. 34-42;

71. **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/ - №80(5). – С. 251-259;

72. **Кулагин, М. А.** Анализ применения нейронной сети к автоматизации процесса выправки пути / М. А. Кулагин, С. В. Михайлов, А. А. Воронков // Интеллектуальные транспортные системы: Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 25 мая 2023 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2023. – С. 196-204;

73. **Гапанович, В. А.** Развитие и внедрение технологии УРРАН на железнодорожном транспорте / В. А. Гапанович // Надежность. – 2013. – № 4(47). – С. 3-10;

74. Будущее – за УРРАНОм [Электронный ресурс] // Гудок. Выпуск № 35: [сайт]. URL: <https://gudok.ru/zdr/179/?ID=970303>;

75. Инструкция о порядке интеграции данных, получаемых системой комплекса СКБП-2009 в систему ЕК АСУ-И. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 28 декабря 2012 г. №2734/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);

76. **Михалкин, И.К.** «EXPERT» - новый инструмент интеллектуального управления железнодорожной инфраструктурой / И. К. Михалкин, О. Б. Симаков // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 3. – С. 5- 7;
77. **Тарабрин, В.Ф.** ЕК АСУИ СДМИ – цифровая платформа для предиктивного анализа и управления состоянием железнодорожной инфраструктуры / В. Ф. Тарабрин, Е. В. Юрченко, А. В. Лохач // Путь и путевое хозяйство. – 2022. – № 6. – С. 25-28;
78. Методика расчета, оценки и прогноза предотказного состояния рельсовой колеи. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 28 августа 2023 г. №2176/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);
79. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 22 декабря 2017 г. №2706/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);
80. «Нейроэксперт» в инфраструктуре [Электронный ресурс] // Гудок. Выпуск № 218: [сайт]. URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1445108&archive=2018.12.04>;
81. **Эсвельд, К.** Анализ состояния рельсовой колеи / К. Эсвельд // Железные дороги мира. - 1989. - № 9. - С.65-70;
82. **Эсвельд, К.** Планирование путевых работ с применением ЭВМ / К. Эсвельд // Железные дороги мира. - 1991. - № 1. - С.45-47;
83. **Фрëлих, П.** Организация и технология ремонта и содержания пути на железных дорогах ФРГ / П. Фрëлих // Железные дороги мира. - 1979. - № 4. - С.53-62;
84. Содержание пути в Австрии – высокое качество с приемлемыми затратами // Железные дороги мира. – 2012. - №8. -С.67-70;
85. **Космин, А. В.** Цифровой мониторинг пути в Норвегии / А. В. Космин // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 1. – С. 32;

86. **Машкович, О.Н.** Автоматизированная система планирования путевых ремонтных работ в Канаде / О.Н. Машкович // Путь и строительство железных дорог. Экспресс-информация. М.:1992. Вып. 43. – С.9-13;
87. **Шентон, М.Дж.** Автоматизированная система планирования путевых работ на британских железных дорогах / М.Дж. Шентон, Дж.М. Танна // Железные дороги мира. –1992. - №2. - С. 44-50;
88. Памятка ОСЖД от 28 - 30 июня 2011 г., Варшава;
89. **Фредерих, Ф.** Влияние геометрии рельсовой колеи на подвижной состав / Ф. Фредерих // Железные дороги мира. – 1985. - №10. - С. 50-54;
90. **Зарембски, А.** Волнообразный износ рельсов на грузовых линиях / А. Зарембски // Железные дороги мира. –1989. - №5. - С. 52-58;
91. **Анантанарайна, Н.** Система сбора данных для планирования работ по текущему содержанию пути / Н. Анантанарайна, М. Деш-Дипак // Железные дороги мира. – 1986. - №3. - С. 62-64;
92. Контроль геометрии пути на железных дорогах Польши // Железные дороги мира. – 2012. - №6. - С. 73-75;
93. **Мишин, В.В.** Комплексный показатель состояния геометрии рельсовой колеи / В.В. Мишин, В.О. Певзнер, Б.Н. Зензинов // Железнодорожный транспорт. Экспресс информация. М.: 1999. Вып.3. – С.1- 16;
94. **Льюис, Р.Б.** Скоростной путеизмеритель / Р.Б. Льюис // Железные дороги мира. –1977. - №12. - С. 66-68;
95. **Audley, M.** The effects of tamping on railway track geometry degradation / M. Audley, J. Andrews // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit. – 2013. - №227 (4). – P. 376- 391;
96. **Bubnelis, V. M.** Railways geometrical parameters dynamics investigation by track quality index / V.M. Bubnelis, B. Slepakovas, L. Černiauskaitė, L. N. Sivilevičius // Mokslas – Lietuvos Ateitis. Science – Future of Lithuania, 10. [Сайт]. URL: <https://doi.org/10.3846/mla.2018.6165>;
97. RATO 13 Radan tarkastus («Проверка пути»). 27.9.2004 [Электронный ресурс]: [сайт]. URL: <https://julkaisut.vayla.fi>;

98. **Крейнис, З.Л.** Корреляционный анализ очертаний рельсовых нитей на прямых участках железнодорожного пути / З.Л. Крейнис, Л.В. Зеленая // Вестник ВНИИЖТ. - №5. - 1975. - С. 40-43;
99. **Певзнер, В.О.** Первые итоги эксплуатационных наблюдений в кривых участках пути с суженной шириной колеи / В.О. Певзнер // Труды ВЗИИТ. - Вып. 43. – Москва. -1969. - С. 15-26;
100. **Вентцель, Е.С.** Теория вероятностей: Учеб. для вузов. — 6-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 1999.— 576 с.;
101. **Кремер, Н.Ш.** Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573 с.;
102. **Бендат, Д.С.** Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол; Пер. с англ. В. Е. Привольского, А. И. Кочубинского; Под ред. И.Н. Коваленко. - Москва: Мир, 1989. - 540 с.;
103. Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов. Утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 28.02.2020 г. №436/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);
104. **Певзнер, В.О.** О возможности повышения скоростей движения поездов при производстве путевых работ / В.О. Певзнер, Л.О. Грачева, А.А. Худякова, В.Н. Шестаков, Б.С. Шинкарев // Вестник ВНИИЖТа. – 1982. - №6. – с.41-44;
105. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ: ЦП/4402: Утв. М-вом путей сообщ. 26.08.86. - Москва: Транспорт, 1987. - 176 с.;
106. **Певзнер, В.О.** Влияние осевой нагрузки и состояния пути на интенсивность износа рельсов / В. О. Певзнер, Ю. С. Ромен, Е. А. Сидорова, А.И. Лисицын, Р.А. Баронайте // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2021. – № 2(54). – С. 64-69;
107. **Лисицын, А.И.** Влияние условий эксплуатации на боковой износ рельсов / А.И. Лисицын, Е. А. Сидорова, Р. А. Баронайте // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: XVII

Международная научно-техническая конференция, Москва, 29 октября – 26 2020 года / ОАО «Российские железные дороги», Российский университет транспорта (МИИТ). – Москва: Издательство «Перо», 2021. – С. 81-83;

108. **Тихонов, В.И.** Выбросы случайных процессов // Издание: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука». 1970. – С. 392;

109. **Коган, А.Я.** Оценка расстройств пути в различных условиях эксплуатации / А.Я. Коган, В.О. Певзнер, Е.В. Козеренко // Увеличение габаритов и повышение погонных нагрузок грузовых вагонов. Сб. научн. тр. ВНИИЖТ. - Вып. 660. - С. 47-52;

110. **Малинский, С.В.** Обнаружение момента изменения свойств железнодорожной колеи на бортовой ЭВМ вагона-путеизмерителя / С.В. Малинский // Автоматизированные системы испытаний объектов железнодорожного транспорта []: межвузовский сборник научных трудов под ред. Э. К. Лецкого; Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. - Москва: [б. и.], 1988. – Вып. 814. – С.125-129;

111. **Певзнер, В.О.** Статистические показатели состояния пути / В.О. Певзнер, Э.К. Лецкий, Е.В. Козеренко, В.А. Варфоломеев // Вестник ВНИИЖТ. - № 2. - 1984. - С. 41-45;

112. **Лысюк, В.С.** Накопление остаточных деформаций в пути / В.С. Лысюк // Путь и путевое хозяйство. – 1973. - №10. – С. 44;

113. Положение о порядке контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 07.04.2017 г. №678/р. Текст: электронный. Доступ из норм-правов. базы «КонсультантПлюс» (БД АСПИЖТ);

114. **Певзнер, В.О.** Основные направления технического обслуживания пути на участках со сверхнормативной наработкой тоннажа (Main directions of track maintenance on sections with excess tonnage operating time) / В.О. Певзнер, Е.Н. Гринь, Р.А. Баронайте (V. O. Pevsner, E. N. Grin, R. A. Baronayte) // AIP Conference Proceedings или Transport research procedia. – 16 May 2023; 2476 (1): 020038;

115. **Баронайте, Р.А.** Дифференциация сроков диагностики геометрических параметров рельсовой колеи в современных условиях эксплуатации / Р.А. Баронайте // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: Чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца, Москва, 27–28 октября 2021 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – С. 184-188;

116. **Баронайте, Р. А.** Определение потребности в выправочных работах с учетом интенсивности роста расстройств / Р. А. Баронайте // Железная дорога: путь в будущее: Сборник материалов I Международной научной конференции аспирантов и молодых ученых, Москва, 28- 29 апреля 2022 года. – Москва: Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, 2022 г. – С. 9-15;

117. Памятка ОСЖД от 27 - 29 августа 2013 г. - Будапешт.;

118. Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id- 14 (D-75) (Инструкция по проведению измерений, исследований и оценки состояния геометрии рельсовой колеи Id-14 (D-75) [Электронный ресурс]: [сайт]. URL: <https://www.plk-sa.pl>;

119. Meranie a vyhodnocovanie geometrickej polohy koľaje meracím vozňom ŽSR SR 103-4 (TS) (Измерение и оценка геометрического положения железнодорожного пути вагонами путеизмерителями ŽSR SR 103-4 (TS)) [Электронный ресурс]: [сайт]. URL: <https://www.zsr.sk>;

120. **Певзнер, В.О.** Определение потребности в путевых работах в современных условиях / В. О. Певзнер, А. И. Чечельницкий, А. И. Лисицын, Е.Н. Гринь, И.Б. Петропавловская, Р.А. Баронайте // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 1. – С. 14-20;

121. **Певзнер, В.О.** Организация технического обслуживания пути на особогрузонапряженных участках / В. О. Певзнер, А. И. Лисицын, Е. А. Сидорова, А.И. Чечельницкий, Р.А. Баронайте, О.Н. Ваганова, К.В. Шапетько, Е.Н. Гринь // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 9. – С. 18- 21;

122. **Баронайте, Р.А.** Определение перспективной потребности в выправочных работах / Р. А. Баронайте // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 8-10;

123. **Блажко, Л.С.** Техничко-технологическое обоснование усиления конструкции пути на участках обращения подвижного состава с осевыми нагрузками до 300 кН : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.22.06 / Блажко Людмила Сергеевна. - Петерб. гос. ун-т путей сообщ. – Санкт- Петербург, 2003. - 47 с.;

124. Руководство по комплексной оценке состояния участка пути (километра) на основе данных средств диагностики и генеральных осмотров пути. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2009 г. №2536/р;

125. Расходные ставки, оценочные уровни затрат на отмену, срыв, передержку «окон» и экономическая оценка устранения отказов технических средств. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 5 марта 2022 г. № 550/р.

ПРИЛОЖЕНИЕ А Пример оценки стабильности участка пути по синтезу параметров, одновременно распределенных по длине и во времени (пропущенному тоннажу)

Д.т.н. Крейнисом З.Л. в 1975 году [98] установлено, что случайный процесс отклонений рельсовых нитей на *отрезке пути* заданной длины может считаться стационарным и эргодическим.

Так как с точки зрения определения потребности в выправочных работах, преобладающим фактором является схема организации ремонтов в границах конкретных участков, рассмотрим участок пути с пропущенным тоннажом после капитального ремонта 450 млн т бр., протяженностью $L = 12$ км (в соответствие с ремонтной схемой) за период наблюдений 12 месяцев.

Расчет будем проводить в табличной форме - таблица А.1.

1). Первый этап расчета включает определение показателя разброса исследуемого параметра по длине перегона - σ_L в i -месяц наблюдений.

Определение показателя σ_L производится по (А.1).

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L (N_i - M_L)^2}{L}} \quad (\text{А. 1})$$

где:

N_i – значение исследуемого параметра на отдельном километре в i -месяц;

L –длина перегона, км;

M_L – среднее значение исследуемого параметра на участке пути длиной L в i -месяц. Определяется по (А.2):

$$M_L = \frac{\sum_{i=1}^L N_i}{L} \quad (\text{А. 2})$$

Например, в январе месяце значения параметров стабильности состояния пути по длине на участке составили:

$$M_{L \text{ янв}} = \frac{52}{12} = 4,33 \text{ шт./км}$$

$$\sigma_{L \text{ янв}} = \sqrt{\frac{(0 - 4,33)^2 + (5 - 4,33)^2 + \dots + (0 - 4,33)^2}{12}} = 3,92 \text{ шт./км}$$

Аналогично выполним расчет для других месяцев.

2. Второй этап включает определение параметров стабильности состояния участка пути одновременно по длине и времени по выражениям (2.3)-(2.5):

$M_L^{t(T)}$ – показателя, характеризующего среднее значение исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L ;

$\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ - показателя, характеризующего изменчивость (разброс) значений исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L ;

$\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ – показателя, характеризующего среднее значение изменчивости (средний разброс) значений исследуемого параметра в годовой динамике t на участке пути длиной L .

Показатель $M_L^{t(T)}$ будет равен:

$$M_L^{t(T)} = \frac{122,76}{12} = 10,23 \text{ шт./км}$$

Показатели $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ и $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$ составят:

$$\overline{\sigma_L^{t(T)}} = \frac{117,75}{12} = 9,81 \text{ шт./км},$$

$$\sigma_{\delta L}^{t(T)} = \sqrt{\frac{241,83}{12}} = 4,49 \text{ шт./км}$$

Критерии оценки стабильности пути определяются сравнительным анализом результатов промеров пути на участках в одинаковых условиях эксплуатации.

Таблица А.1 – Пример определения параметров стабильности пути для участка длиной $L=12$ км за период $t = 12$ мес. при пропущенным тоннаже после капитального ремонта 450 млн т бр.

№	Месяц	Номера километров												Сумма по участку, N_L , шт.	Среднее, M_L , шт./км	СКО, σ_L , шт./км
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
		Значения исследуемого параметра														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	январь	0	5	2	5	4	15	4	1	5	3	8	0	52	4,33	3,92
2	февраль	2	13	3	3	5	10	2	4	5	7	11	0	65	5,42	3,86
3	март	2	4	2	4	2	7	1	5	2	3	7	0	39	3,25	2,13
4	апрель	3	33	6	16	14	40	7	10	5	6	22	0	162	13,50	11,88
5	май	10	38	16	17	13	28	4	13	7	21	15	0	182	15,17	9,92
6	июнь	15	38	19	17	12	71	8	9	9	25	33	2	258	21,50	18,03
7	июль	6	14	11	17	10	47	9	4	8	13	13	1	153	12,75	11,18
8	август	4	26	1	4	12	43	3	1	8	2	2	2	108	9,00	12,30
9	сентябрь	7	21	7	26	14	49	1	2	7	1	4	1	140	11,67	13,70
10	октябрь	5	21	9	18	7	47	4	5	4	1	2	0	123	10,25	12,68
11	ноябрь	5	17	7	7	14	41	2	2	1	1	1	1	99	8,25	11,12
12	декабрь	6	8	4	2	9	22	0	21	7	1	11	1	92	7,67	7,03
13														$\Sigma N_L=1473$	$M_L^{t(T)}=10,23$	$\sigma_L^{t(T)}=9,81$
14																$\sigma_{\Delta L}^{t(T)}=4,49$

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б Характеристики участков для анализа интенсивности
роста амплитуд отдельных неровностей**

Таблица Б.1 - Характеристики участков для анализа интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в условиях сети

№ пп	Дирекция инфраструктуры (ДИ)	Дистанция пути (ПЧ, ИЧ)	Направление	КМ начала-КМ конца	Средняя грузонапряженность, млн ткм бр./км в год на 01.01.2019 г.	
					1 путь	2 путь
1	Горьковская	ИЧ-4 Канаш	Свияжск-Ульяновск	3-158	8,9	-
		ПЧ-10 Глазовская	Киров-Екатеринбург	969-1029	140,6	-
		ПЧ-13 Кировская	Киров-Екатеринбург	1030-1221	140,6	-
2	Северная	ПЧ-30 Сосногорская	Коноша-Воркута	1570-1689	12,2	7,9
		ПЧ-12 Шарьинская	Буй-Киров	644-819	116,4	-
3	Московская	ИЧ-4 Фаянсовская	Брянск-Смоленск	150-379	-	8,5
			Вязьма Брянская - Брянск	2-222	1,2	-
		ПЧ-18 Бекасовская	Икша-Бекасово	167-235	19,5	41,9
		ПЧ-27 Курская	Москва-Харьков	384-538	8,2	10,4
4	Восточно-Сибирская	ПЧ-9 Слюдянская	Иркутск-Чита	5225-5354	63,6	175,8
			Слюдянка-Байкал	72-159	0,9	-
		ПЧ-16 Чунская	Тайшет-Лена-Вост	96-265	23,7	38,7
		ПЧ-17 Вихоревская	Тайшет-Лена-Вост	265-479	19,5	32,8
5	Октябрьская	ПЧ-32 Тихвинская	Волховстрой-Вологда	135-293	171,6	84,7
		ПЧ-33 Бабаевская	Волховстрой-Вологда	293-462	164,2	79,6
6	Юго-Восточная	ПЧ-21 Сердобская	Балашов-Пенза	122-256	56,9	40,8
		ПЧ-05 Россошанская	Отрожка-Ростов	688-899	39,9	67,1

Продолжение таблицы Б.1

№ п п	Дирекция инфра- структуры (ДИ)	Дистанция пути (ПЧ, ИЧ)	Направление	КМ начала- КМ конца	Средняя грузонапряженность, млн ткм бр./км в год на 01.01.2019 г.	
					1 путь	2 путь
7	Приволжская	ПЧ-17 Сарептская	Волгоград- Краснодар	11-194	25,6	55,2
8	Западно- Сибирская	ПЧ-08 Барабинская	Карбышево- Новосибирск	3020-3162	131,5	82,1
		ПЧ-12 Болотинская	Новосибирск- Красноярск	3351-3464	96,4	116,8
		ПЧ-13 Инская	Новосибирск- Барнаул	11-109	24,5	33,9
9	Южно- Уральская	ПЧ-4 Златоустовская	Самара- Челябинск	1935-2018	114,8	-
		ПЧ-6 Полетаевская	Самара- Челябинск	2018-2093	114,8	-
10	Свердловская	ПЧ-1 Верещагинская	Чепца- Екатеринбург	1222-1386	144,3	-
11	Дальне- восточная	ПЧ-6 Хабаровск- 2	Хабаровск- Владивосток	8526-8636	-	146,4
12	Забайкальская	ПЧ-8 Зиловская	Чита- Хабаровск	6627-6785	-	141,9

Таблица Б.2 - Характеристики участков анализа интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей на особогрузонапряженных линиях (специализация «ОП»)

Дирекция инфраструктуры (ДИ)	Направление	КМ начала- КМ конца	путь	Грузонапряженность, млн т км бр./км в год	Тип верхнего строения пути*	Тоннаж, млн т бр.	Уклоны, ‰	Радиусы, м
Горьковская	Киров- Екатеринбург	969-1221	1	140,6	Р65, БП, Ж/Б, Щ	68,5 – 1500,2	-10 +10	331-2300
Восточно- Сибирская	Иркутск-Чита	5225-5354	2	175,8	Р65, БП, Ж/Б, Щ	77,6 – 850,3	-17,4 +17,4	290-2100
Октябрьская	Волховстрой- Вологда	135-462	1	171,6	Р65, БП, Ж/Б, Щ	72,1 – 1038,8	-9,3 +9,4	410-4300
Свердловская	Челя- Екатеринбург	1222-1386	1	144,3	Р65, БП, Ж/Б, Щ	153,0 – 865,7	-13,8 +11,3	500-4000
Дальневосточная	Хабаровск- Владивосток	8526-8636	2	146,4	Р65, БП, Ж/Б, Щ	66,7 – 1395,6	-12 +12	300-2300
Забайкальская	Чита- Хабаровск	6627-6785	2	141,9	Р65, БП, Ж/Б, Щ	64,5 – 1183,1	-13,0 +14,1	300-2250

*Р65 – рельсы типа Р65; БП – бесстыковой путь; Ж/Б – шпалы железобетонные; Щ – балласт щебень

ПРИЛОЖЕНИЕ В Система управления состоянием пути на особогрузонапряженных линиях в зависимости от условий эксплуатации и форм организации работ

Таблица В.1 – Система управления состоянием пути на особогрузонапряженных линиях в зависимости от условий эксплуатации и форм организации работ

Стадия жизненного цикла пути	Количество отступлений II ст., шт./км	Период года ⁴⁾	Вид работ			Примечание
			Устранение отдельных отступлений ¹⁾	Локальная выправка ²⁾	Сплошная выправка ²⁾	
Стадия стабилизации пути после капитального ремонта	менее 15	зима	+			
		межсезонный период	+			
	15-20	лето	+			
		зима	+			
		межсезонный период	+	+		
		лето	+	+		
20-25	зима	+			Период стабилизации не завершен	
	межсезонный период	+	+	+		
Стадия стабильной работы пути	менее 15	лето	+			
		зима	+			
	15-20	межсезонный период	+			
		лето	+			
		зима	+	+		
		межсезонный период	+	+		
20-25	зима	+				
	межсезонный период	+	+	+		

Продолжение таблицы В.1

Стадия жизненного цикла пути	Количество отступлений II ст., шт./км	Период года ⁴⁾	Вид работ			Примечание
			Устранение отдельных отступлений ¹⁾	Локальная выправка ²⁾	Сплошная выправка ²⁾	
Стадия интенсивного роста расстройств	25 и более	зима	+			Переход в стадию интенсивного роста расстройств
		межсезонный период	+	+	+	
		лето	+	+	+	
	20-25	зима	+		+ ³⁾	
		межсезонный период	+	+	+	
		лето	+	+	+	
25 и более	зима	+		+ ³⁾		
	межсезонный период	+	+	+		
		лето	+	+	+	

Примечания:

- 1) порядок проведения работ по устранению отдельных расстройств определяется в соответствии с разработанными критериями вероятностной оценки появления отдельных отступлений, приведенными в таблице 4.1, а также согласно действующим нормативным документам [6, 103]
- 2) выбор участков, требующих первоочередного проведения работ локального или сплошного характера определяется в соответствии с разработанным способом оценки стабильности участка пути по длине и во времени, приведенным во 2 главе диссертационного исследования
- 3) только при чистом балласте
- 4) при прогнозе изменения состояния пути на межсезонный период следует рассматривать пессимистичный сценарий изменения состояния пути в виду возможного резкого ухудшения состояния пути.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г Методика определения периодичности контроля
геометрических параметров рельсовой колеи №ЦДИ-1103/р**



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»
(АО «ВНИИЖТ»)

3-я Мытищинская ул., 10, г. Москва, 129626
тел.: +7 (495) 602-8307, факс: +7 (495) 602-8484
e-mail: info@vniizht.ru, www.vniizht.ru

Руководителям организаций
(по списку)

« 01 октября 2021 г. № КИ-05/278 (ИСХ-3094/ВНИИЖТ)

На № _____ от _____

О рассмотрении Методики

Уважаемые коллеги!

Направляем Вам на рассмотрение первую редакцию Методики определения периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи.

Просим Вас направить свои замечания и предложения в адрес Института и на электронный адрес baronayte.renata@vniizht.ru до 15 октября 2021 г.

Приложение: Первая редакция Методики на 10 л. в 1 экз.

Исполнительный директор

К.П. Шенфельд

Исп. Баронайте Р.А., НЦ «ЦПРК»,
тел. 8(499)260-41-11, доб. 3-01-26.

Согласовано:
 Начальник Дирекции
 Диагностики и мониторинга
 инфраструктуры
 Центральной дирекции
 инфраструктуры – филиала
 ОАО «РЖД»
 _____ А.А. Рословец

« ____ » _____ 2021

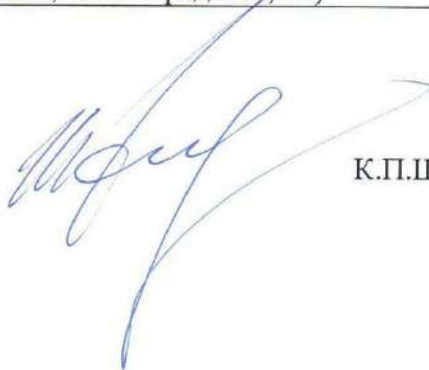
СПИСОК РАССЫЛКИ

для замечаний и предложений на проект «Положения о порядке контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами»

1.	Первому заместителю начальника Департамента технической политики ОАО «РЖД» Д.А. Коренькову (107174, г. Москва, Садово-Спасская, 21/1)
2.	Заместителю начальника Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» по эксплуатации С.В. Максимцеву (107174, г. Москва, Каланчевская ул., д.35)
3.	Главному инженеру Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры - филиала ОАО «РЖД» Д.Н. Буркову (107174, г. Москва, Каланчевская ул., д.35)
4.	Начальнику Дирекции диагностики и мониторинга Центральной дирекции инфраструктуры - филиала ОАО «РЖД» А.А. Рословцу (107174, г. Москва, ул. Маши Порываевой д.7 стр. А)
5.	Заместителю главного инженера Октябрьской железной дороги Д.А. Большакову (191023, г. Санкт-Петербург, пл. Островского д. 2)
6.	Главному инженеру Московской железной дороги Д.В. Шустову (107140, г. Москва, Краснопрудная ул., д. 20)
7.	Главному инженеру Горьковской железной дороги А.Ю. Ищенко (603011, Нижегородская область, Нижний Новгород, Октябрьской Революции, 78)
8.	Главному инженеру Северной железной дороги А.Н. Кошубарову (150003, Ярославль, Волжская набережная, 59)
9.	Начальнику службы технической политики Северной железной дороги А.В. Колесникову (150003, Ярославль, ул. Советская, д. 81а)
10.	Главному инженеру Свердловской железной дороги А.М. Пидяшову (620013, Свердловская область, Екатеринбург, Челюскинцев, 11)
11.	Главному инженеру Южно-Уральской железной дороги В.А. Яковлеву (454091, Челябинская область, Челябинск, площадь Революции, 3)

12.	Главному инженеру Восточно-Сибирской железной дороги Н.Г. Скосырскому (664005, Иркутск, ул. 2-я Железнодорожная, 12)
13.	Главному инженеру Забайкальской железной дороги И.А. Гордиенко (672000, Забайкальский край, Чита, Ленинградская, 34)

Исполнительный директор АО
«ВНИИЖТ»



К.П.Шенфельд



**ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

РАСПОРЯЖЕНИЕ

г. № _____

**Об утверждении Методики определения периодичности контроля
геометрических параметров рельсовой колеи**

В целях оптимизации работы путеизмерительных средств, повышения качества контроля состояния рельсовой колеи, реализации единого подхода при диагностировании, назначению и проведению работ по ремонту и текущему содержанию железнодорожного пути в зависимости от его классификации:

1. Утвердить прилагаемую Методику определения периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи (далее – Методика).

2. Установить период опытного применения Методики – до отмены действия Положения о порядке контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами, утвержденного распоряжением ОАО «РЖД» от 7 апреля 2017 г. № 678/р.

3. Начальникам дирекций инфраструктуры, Управления пути и сооружений, Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры обеспечить в установленном порядке изучение Методики, утвержденной настоящим распоряжением, формирование опытной периодичности контроля пути на 2022 г., анализ результатов расчетов и формирование замечаний и предложений по Методике.

4. Начальнику Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры до 20 января 2022 г. подготовить проект актуализированной редакции Положения о порядке контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами, утвержденного распоряжением ОАО «РЖД» от 7 апреля 2017 г. № 678/р, с учетом замечаний и предложений к Методике и направить его на согласование установленным в ОАО «РЖД» порядком.

Заместитель начальника дирекции

С.В.Максимцев

Исп. Игонькин С.Н., ЦДМ
(499) 260-12-95

Электронная подпись. Подписал: Максимцев С.В.
№ЦДИ-1103/р от 27.12.2021

УТВЕРЖДЕНО
распоряжением Центральной
дирекции инфраструктуры
от «__» _____ 2021 г. № _____

МЕТОДИКА
определения периодичности контроля геометрических параметров
рельсовой колеи

1. Общие положения

1.1. Периодичность проверок пути различными типами путеизмерителей устанавливается приказом начальника дирекции инфраструктуры согласно Положению о порядке контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами.

1.2. Расчет периодичности должен базироваться на фактической оценке интенсивности роста неровностей пути (мм/млн т) в различных условиях эксплуатации.

1.3. Анализ данных об изменении состояния пути на участках с различной динамикой показателей стабильности показал, что интенсивность роста неровностей зависит от грузонапряженности, класса пути и скоростей движения.

В свою очередь, риск возникновения в пути отступлений, угрожающих безопасности движения, возрастает при высокой интенсивности движения и быстрой наработке тоннажа, а также при сезонно-климатических колебаниях температуры: весной-летом в период оттаивания балласта и осенью, с наступлением зимы.

1.4. Настоящая Методика определения периодичности контроля геометрических параметров рельсовой колеи (далее – Методика) была разработана на базе результатов исследований АО «ВНИИЖТ» по оценке интенсивности роста амплитуд отступлений от I-II к III-IV степени в различных условиях эксплуатации на базе материалов Горьковской, Северной и Южно-Уральской железных дорог.

1.5. Потребные сроки проверок определены из условия, что периодичность проходов средств диагностики должна исключать появление неровностей, угрожающих безопасности движения поездов согласно действующим нормативам, в период между проверками пути.

Электронная подпись. Подписал: Максимцев С.В.
№ЦДИ-1103/р от 27.12.2021

2. Периодичность и порядок комплексного контроля состояния пути

2.1. Периодичность контроля главных путей мобильными средствами путеизмерения, разработанная с учетом фактической интенсивности роста амплитуд неровностей зависит от:

- группы (специализации) железнодорожного пути;
- класса пути;
- грузонапряженности;
- допустимых скоростей движения.

2.2. Результаты анализа роста неровностей показали, что средняя интенсивность роста амплитуд неровностей возрастает на участках, находящихся в «тяжелых» условиях эксплуатации, при высокой грузонапряженности и скоростях движения.

Ввиду высокой скорости роста отступлений из I-II степени в недопустимую III-IV степень, на таких участках необходим усиленный контроль геометрии рельсовой колеи (далее – ГРК) мобильными средствами диагностики, для своевременного предупреждения неисправностей с немедленным их устранением.

С этой целью диапазон группы О был разделен на две подгруппы: ОI - с грузонапряженностью более 120 млн.ткм бр/км в год и ОII - с грузонапряженностью более 80 до 120 млн.ткм бр/км в год. Такое разделение на подгруппы позволяет, если потребуется, увеличить частоту проверок с целью недопущения внезапного появления отступлений III и IV степеней с учетом местных условий.

2.3. Минимальная периодичность контроля должна быть не реже приведенной в таблицах 1.1 и 1.2 для главных путей и в таблице 1.3 для станционных путей.

Таблица 1.1

**Периодичность контроля главных путей мобильными средствами
путеизмерения**

Группа железнодорожного пути		Грузонапряженность, млн ткм брутто/км в год	Минимальная периодичность проверок пути ^{1,2)}							
			Допустимые скорости движения, км/ч (числитель – пассажирские, знаменатель – грузовые)							
Группа ж.д. пути (специализация)	Код группы		>200 >90	161-200 >90	141-160 >90	121-140 >80	101-120 >80	81-100 61-80	61-80	до 60
Высокоскоростная	В	не регламентируется	1							
			2 р в мес							
Скоростная	С	не регламентируется	1	1						
			2 р в мес	2 р в мес						
Пассажирская	П	не регламентируется	1	1	1	2	3	3	3	
			2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	1 р в мес	1 р в мес	
Особогрузонапряженная	I	более 120	1	1	1	1	1	1	2	
			2 р в мес ³⁾	2 р в мес ³⁾	2 р в мес ³⁾	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	
	II	более 80 до 120	1	1	1	1	1	1	2	
			2 р в мес ³⁾	2 р в мес ³⁾	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	
Грузовая	I	более 50 до 80	1	1	1	1	1	1	2	
			2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	
	II	более 25 до 50	1	1	2	2	3	3		
			2 р в мес	2 р в мес	2 р в мес	1 р в мес	1 р в мес	1 р в мес		
	III	более 10 до 25	1	2	3	3	3	3		
1 р в мес			1 р в 2 мес	1 р в 2 мес	1 р в 3 мес	1 р в 3 мес	1 р в 3 мес			
IV	более 5 до 10	1	3	3	3	3	4			
		1 р в 3 мес	1 р в 3 мес	1 р в 3 мес	1 р в 3 мес	1 р в 6 мес ³⁾	1 р в 6 мес ³⁾			
V	5 и менее	3	4	4	4	4	4			
			1 р в 6 мес ³⁾	1 р в 6 мес ³⁾	1 р в 6 мес ³⁾	1 р в 6 мес ³⁾	1 р в 6 мес ³⁾	1 р в 6 мес ³⁾		

Примечания:

1) числитель – класс пути, знаменатель – количество проверок;

2) на участках, проверяемых АИИС, контроль пути осуществляется в зависимости от класса пути:

1 (В) – 4 раза в месяц (проезд мобильным путеизмерительным средством 1 раз в месяц);

1, 2 (С, П, О, Г I-II) – 2 раза в месяц;

1 (Г III), 3 (П, Г II) – 1 раз в месяц;

при отсутствии на участке оборудованного АИИС подвижного состава назначается проверка мобильным путеизмерительным средством согласно таблице 4.1;

3) с учетом местных условий может потребоваться увеличение частоты проверок с целью недопущения внезапного появления неисправностей III и IV степеней в период между двумя проходами мобильных средств диагностики.

На участках с периодичностью контроля 1 р в 6 мес проверки пути обязательны в межсезонные периоды (зима – весна, осень – зима)

Таблица 1.2

Периодичность контроля дополнительных параметров на главных путях мобильными средствами путеизмерения

Группа железнодорожного пути		Грузонапряженность, млн ткм брутто/км в год	Минимальная периодичность проверок пути ^{1,2)}							
			Допустимые скорости движения, км/ч (числитель – пассажирские, знаменатель – грузовые)							
Группа ж.д. пути (специализация)	Код группы		$\frac{\geq 200}{>90}$	$\frac{161-200}{>90}$	$\frac{141-160}{>90}$	$\frac{121-140}{>80}$	$\frac{101-120}{>80}$	$\frac{81-100}{61-80}$	61-80	до 60
Высокоскоростная	В	не регламентируется	1							
			1 р в мес							
Скоростная	С	не регламентируется		1	1					
				1 р в 6 мес	1 р в 6 мес					
Пассажирская	П	не регламентируется			1	1	2	3	3	3
					1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес
Особогрузонапряженная	I	более 120				1	1	1	1	2
						1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес
	II	более 80 до 120				1	1	1	1	2
						1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес
Грузовая	I	более 50 до 80				1	1	1	1	2
						1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес
	II	более 25 до 50				1	1	2	2	3
						1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес
	III	более 10 до 25				1	2	3	3	3
					1 р в 6 мес	1 р в 6 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес	
	IV	более 5 до 10				2	3	3	3	4
						1 р в 6 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес
	V	5 и менее				3	4	4	4	4
						1 р в 12 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес	1 р в 12 мес

Примечания:

1) числитель – класс пути, знаменатель – количество проверок;

2) контроль дополнительных параметров с периодичностью 1 р в 6 мес обязателен в межсезонные периоды (зима – весна, осень – зима);

Контроль мобильными средствами путеизмерения величины износов рельсов, стыковых зазоров, угона плетей осуществляется в соответствии с действующей на момент проверки нормативной документацией.

Таблица 1.3

Периодичность проверок станционных путей путеизмерительными средствами

Тип путеизмерительного средства	Специализация станционных путей					
	приемо-отправочные пути и съезды (главные, п/о)	соединительные	сортировочные, горочные	вытяжные, ходовые	деповские, выставочные, прочие	погрузочно-выгрузочные
Безопасность движения, текущее содержание и мониторинг состояния пути						
Путеизмерительные тележки	1 раз в 3 месяца ^{1,3)}	1 раз в 3 месяца ^{1,2,3)}	1 раз в 3 месяца ³⁾	1 раз в 3 месяца ³⁾	1 раз в 3 месяца ³⁾	1 раз в год ³⁾
Съемка плана и профиля станций						
Все мобильные средства путеизмерения с функцией съемки продольного профиля	По плану, утверждённому ДИ					

Примечания:

¹⁾ станционные пути с пассажирским движением, включая маршрут следования на главный ход (стрелочные переводы, межстрелочные участки и соединительные пути) и съезды между главными путями, кроме того, проверяются мобильными путеизмерительными средствами или ручными путеизмерителями (по составу контролируемых параметров ГРК полностью соответствующими мобильному средству путеизмерения) с периодичностью один раз в 6 месяцев;

²⁾ проверка станционных путей и съездов путеизмерительными тележками может не производиться, если путь был проверен мобильным путеизмерительным средством;

³⁾ периодичность проверки путей и съездов в границах станций, расположенных на железнодорожных путях 4 класса специализации Г, должна быть не чаще установленной периодичности для главных путей.

2.4. Периодичность контроля участка пути различными путеизмерительными средствами свыше предусмотренных в таблицах 1.1, 1.2 и 1.3 требований может быть установлена начальником дирекции инфраструктуры по согласованию с Центральной дирекцией инфраструктуры.

3. Правила пользования таблицами для определения периодичности

3.1. Определение периодичности контроля главных путей мобильными путеизмерительными средствами по Таблицам 1.1-1.2 выполняется следующим образом.

Для конкретного участка в строке таблицы выбирается группа (специализация) пути, класс, грузонапряженность. В столбце таблицы

выбирается допустимая скорость. Искомое значение периодичности проверок для данного участка находится на пересечении выбранных столбца и строки.

В соответствии с примечанием 3 к таблице 1.1, с учетом местных условий может потребоваться увеличение частоты проверок с целью недопущения внезапного появления неисправностей III и IV степеней в период между двумя проходами мобильных средств диагностики.

3.2. Понятие сокращения интервала между проверками подразумевает введение дополнительного прохода путеизмерителя (разово или на постоянной основе).

Сокращение интервалов между проверками пути может потребоваться при наличии одного или сочетания нескольких факторов, приведенных ниже:

- наличие участков со сверхнормативной наработкой тоннажа с количеством отступлений II степени более 25 шт/км (в расчете на месяц) в течение 3-х месяцев подряд и более;

- появление отступлений II степени более 50 шт/км (в расчете на месяц) или отступлений III-IV степеней в количестве более 3 шт/км (в расчете на месяц) в течение 3-х месяцев подряд и более;

- наличие участков неудовлетворительного состояния пути по КОСП по состоянию балластной призмы и земляного полотна;

- после природных катаклизмов (ливневые дожди, наводнения, геологические процессы и др.).

3.3. Решение о назначении дополнительных проверок пути в вышеуказанных случаях принимается начальником дирекции инфраструктуры по согласованию с Центральной дирекцией инфраструктуры.

3.4. Периодичность проверок пути мобильными средствами диагностики, определенная по критериям скоростей роста амплитуд неровностей для станционных путей (Таблица 1.3) определяется в зависимости от специализации самих путей и типа путеизмерительного средства. Для ее определения необходимо выбрать соответствующие графы.

4. Примеры определения периодичности проверок пути для участка с известными условиями эксплуатации

4.1. Пример 1. Определить периодичность проверок пути мобильными средствами диагностики для участка, относящегося к группе Г1. Грузонапряженность составляет 75 млн ткм бр/км в год. Скорость пассажирских поездов 120 км/ч, скорость грузовых поездов 85 км/ч.

По таблице 1.1. находим строку с группой пути Г1. Выбираем нужный диапазон грузонапряженности – «более 50 до 80» и нужный диапазон скоростей

«101-120/>80». На их пересечении получаем искомое значение «2 раза в месяц».

Таким образом, периодичность проверок пути для этого участка должна выполняться 2 раза в месяц.

4.2. Пример 2. Определить периодичность проверок пути мобильными средствами диагностики для участка, относящегося к группе ОП. Грузонапряженность составляет 114 млн.ткм бр/км в год. Скорость пассажирских поездов 140 км/ч, скорость грузовых поездов 90 км/ч. На рассматриваемом участке есть 10 км со сверхнормативной наработкой тоннажа, при среднемесечном количестве отступлений II степени 28 шт/км, а также места с выплесками.

По таблице 1.1. находим строку с группой пути ОП. Выбираем нужный диапазон грузонапряженности – «более 80 до 120» и нужный диапазон скоростей «121-140/>80». На их пересечении получаем искомое значение «2 раза в месяц³⁾». Поскольку на участке имеются места со сверхнормативным тоннажем и места с выплесками и стоит ссылка 3), которая означает, что «с учетом местных условий может потребоваться увеличение частоты проверок с целью недопущения внезапного появления неисправностей III и IV степеней в период между двумя проходами мобильных средств диагностики», на этом участке может быть назначен дополнительный проход путеизмерителя с немедленным устранением неисправностей.

Таким образом, периодичность проверок пути для этого участка составит 3 раза в месяц.

4.3. Пример 3. Определить периодичность проверок пути путеизмерительными тележками для участка, относящегося к приемоотправочным путям на станции.

По таблице 1.3. находим значение для проверки приемоотправочных путей путеизмерительными тележками – 1 раз в 3 месяца.

Таким образом, периодичность проверок пути для этого участка должна выполняться 1 раз в 3 месяца.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д Резолюция по итогам работы V Национальной научно-практической конференции с международным участием «Путь XXI века»



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»**



УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель генерального директора
ОАО «РЖД» - начальник
Центральной дирекции
инфраструктуры

Е. А. Шевцов

« » 2023

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО ПГУПС

О. С. Валинский

« » 2023

**РЕЗОЛЮЦИЯ
по итогам работы**

**V НАЦИОНАЛЬНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
«Путь XXI века»**

**Посвящённой 100-летию кафедры «Железнодорожный путь»
14 – 15 сентября 2023 года**



Санкт-Петербург
2023

РЕЗОЛЮЦИЯ
по итогам работы
V НАЦИОНАЛЬНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
«Путь XXI века»,
посвящённой 100-летию кафедры «Железнодорожный путь»

Организационный комитет по итогам работы V национальной научно-практической конференции международным участием «Путь XXI века», посвящённой 100-летию кафедры «Железнодорожный путь» (далее Конференции) направляет участникам следующую резолюцию.

1) Основными направлениями взаимодействия Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» с федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (далее ФГБОУ ВО ПГУПС) и кафедры «Железнодорожный путь» считать:

– удовлетворение потребности филиалов и структурных подразделений ОАО «РЖД» (в том числе железных дорог, региональных дирекций инфраструктуры, региональных дирекций по ремонту пути, региональных центров диагностики и мониторинга инфраструктуры), в соответствии с их заявками, на подготовку специалистов путевого хозяйства – инженеров путей сообщения по специальности «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути», обладающих компетенциями для решения стратегических задач сегодняшнего дня и на перспективу до 2035 г;

– участие в программах, рабочих группах и проектах ОАО «РЖД» по совершенствованию конструкций железнодорожного пути и их элементов,



систем технического обслуживания пути, технологий предиктивной аналитики состояния объектов путевого хозяйства.

2) Начальнику Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» А.И. Чечельницкому подготовить информацию о потребности до 2025 г. специалистов по неразрушающему контролю объектов инфраструктуры на основе подготовки бакалавров по направлению 12.03.01 - «Приборостроение» для последующего включения в конкурсную заявку Федерального агентства железнодорожного транспорта на госбюджетные места по вышеуказанному направлению подготовки.

3) Кафедре «Железнодорожный путь» ФГБОУ ВО ПГУПС включить в состав учебно-методических комплексов дисциплин, обеспечивающих формирование профессиональных компетенций основной профессиональной образовательной программы специалитета по специальности «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути» материалы докладов руководителей путевого комплекса ОАО «РЖД»:

– главного инженера Центральной дирекции по ремонту пути – филиала ОАО «РЖД» В.А. Шамраева на тему «Стратегическое развитие Центральной дирекции по ремонту пути»;

– начальника Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры А.И. Чечельницкого на тему «О стратегии развития и инновационных методах диагностики и мониторинга инфраструктуры»;

– начальника Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры Д.В. Заливы на тему «Направления развития путевого комплекса ОАО «РЖД»;

– директора Проектно-конструкторского бюро по инфраструктуре – филиала ОАО «РЖД» А. А. Борецкого на тему «О разработке конструкции узла промежуточного рельсового скрепления для проекта 2,5 млрд. т брутто».



4) В условиях динамично меняющихся технологий ведения путевого хозяйства и совершенствования конструкций железнодорожного пути рассмотреть вопрос о создании на базе кафедры «Железнодорожный путь» ФГБОУ ВО ПГУПС открытой платформы «Железнодорожный путь XXI века» (ОПЖДП XXI) для обмена мнениями, опытом, формирования экспертных решений и взаимного профессионального роста преподавателей, специалистов и руководителей структурных подразделений путевого комплекса.

Поручить кафедре «Железнодорожный путь» ФГБОУ ВО ПГУПС совместно с Октябрьской дирекцией инфраструктуры ОАО «РЖД» в срок до 01 ноября 2023 г разработать основные принципы работы и функционал ОПЖДП XXI.

5) По итогам двух дней работы Конференции провести анкетирование участников по вопросам совершенствования основной профессиональной образовательной программы «Управление техническим состоянием железнодорожного пути» и учебного процесса. Обобщенные результаты анкетирования изложить в итогах работы круглого стола № 2

Участники круглого стола № 1 пришли к следующим мнениям и рекомендациям:

1) Принять к сведению и рекомендовать к ознакомлению специалистов путевого хозяйства, преподавателей, студентов и аспирантов профильных кафедр университетов путей сообщения следующие материалы докладов:

– верифицированная модель определения оптимального модуля упругости рельсового основания для пути с ресурсом 2,5 млрд т брутто пропущенного тоннажа, представленная в докладе РУТ (МИИТ) (авторы: Е.С. Ашпиз, А.В. Замуховский, А.В. Гречаник);

– современные конструкции стрелочных переводов, предназначенные для эксплуатации на высокоскоростных железнодорожных линиях, разработанных АО «ВНИИЖТ» (доклад Б.Э. Глюзберга)

– методика оценки предотказного состояния бесстыкового пути магнитным методом, разработанная АО «Радиоавионика» (авторы А.А. Марков, М.В. Карелин);

– материалы исследования факторов, оказывающих влияние на накопление контактно-усталостных дефектов внутреннего рельса в кривых малых радиусов (доклад Н.М. Никоновой, АО «ВНИКТИ»);

– предложения по рационализации планирования и организации путевых работ, содержащиеся в докладе «Проблемы в вопросах разработки и внедрения предиктивной аналитики текущего содержания пути в современные автоматизированные системы управления» (авторы Т.Н. Аслаханова, А.А. Осколков ФГБОУ ВО ИрГУПС);

– результаты анализа состояния земляного полотна на участках тяжеловесного движения Свердловской железной дороги, выполненного специалистами ФГБОУ ВО УрГУПС (авторы О.Л. Скутина, Д.А. Скутин, А.М. Махова, А.И. Скурихин);)

– методика определения потребности в выправочных работах на среднесрочный период на базе многовариантного прогноза изменения состояния



пути, как восстанавливаемой системы (доклад В.О. Певзнер, Р.А. Баронайте, АО «ВНИИЖТ»);

– практические результаты внедрения технологий машинного обучения, обработки больших данных и предиктивной аналитики в ОАО «РЖД» для планирования работ по ремонту и содержанию пути (доклад А.Ю. Луговский, А.В. Лохач, АО «Фирма ТВЕМА»)

– результаты натурных экспериментов по оценке состояния промежуточных рельсовых скреплений бесстыкового пути, полученные в Ташкентском транспортном университете Республики Узбекистан (авторы К.С. Лесов, Г.-А. Р. Хальфин).

– ознакомить в кураторские часы студентов с материалами докладов И. П. Киселева «Единство и многообразие: из истории kolejных дорог» и заместителя директора ФГБУК ИМЖТ России А.С. Низковского «У истоков стальных магистралей».

2) Продолжить научно-исследовательские работы по возможности использования квадрокоптеров для непрерывного мониторинга пути на электрифицированных участках (докладчик К.К. Ким (ФГБОУ ВО ПГУПС)).

3) Принять к сведению и использованию в работе информацию о успешном 30-летнем опыте изготовления и эксплуатации мостов, волноотбойных стен, шумозащитных экранов, стыковых накладок и других и других элементов железнодорожного пути из полимерных композитных материалов НПП АпАТЭК(докладчик В.М. Ермаков).

4) Рекомендовать кафедре «Железнодорожный путь», совместно с кафедрой «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» продолжить исследования по эффективности использования бесполостных дренажей и их конструкции на железнодорожном транспорте (для природно-климатических условий Северо-западного региона России) (докладчик В.М. Штыков)

5) Одобрить научно-практические результаты диссертационного исследования, доложенные А.В. Петряевым (ФГБОУ ВО ПГУПС) по вопросам стабилизации грунтов подшпального основания.



**ПРИЛОЖЕНИЕ Е Правила назначения ремонтов железнодорожного пути,
утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р
(п. 5.10 и Таблица 6.5)**

32

5.10. Определение потребности в текущих работах осуществляется по фактическому состоянию пути.

Определение потребности в работах на среднесрочный или долгосрочный периоды осуществляется по прогнозу состояния пути или по нормативным требованиям.

**6. Критерии назначения основных видов работ по ремонту
железнодорожного пути**

6.1. Формирование титульных участков по видам ремонтов производится с учетом фактического состояния пути при достижении параметров основных и дополнительных критериев отраженных в техническом паспорте дистанции пути (инфраструктуры) (форма АГУ-4), а также критериев технико-экономического состояния пути методологии Управления ресурсами, рисками на этапах жизненного цикла и анализа надежности (далее – УРРАН): остаточный ресурс, надежность.

6.2. При назначении капитальных ремонтов, участки пути оцениваются по основным и дополнительным критериям, каждый из которых имеет числовое значение, соответствующее степени дефектности элементов верхнего строения пути, на основании видов критериев и значения общего коэффициента по состоянию объекта определяется вид ремонта, в том числе исходя из необходимости устранения причины, вызывающей снижение надежности или работоспособности железнодорожного пути.

Критерии выбора участков ремонтов железнодорожного пути подлежащих ремонтам 1 – 3 уровня (КРН, КРС, РС, РП), представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Критерии выбора участков ремонтов железнодорожного пути, подлежащих капитальным ремонтам 1 – 3 уровня (КРН, КРС, РС, РП)^{*}

Критерии	Значение критерия по классам железнодорожного пути					Коэффициент влияния
	1	2	3	4	5	
1 – 2 уровень (КРН, КРС)						
Основные критерии						
Пропущенный тоннаж или срок службы в годах, %	100	100	100	100	100	от 100% – 0,3 промежуточные значения методом интерполяции 200% – 0,5, более

^{*} Для железнодорожных путей кроме В, С, для которых основными критериями являются пропущенный тоннаж или срок службы в годах.

преимущественно комплексно – заменой блоками. Подсчет дефектных скреплений ведется аналогично, приведенным в пункте 6.4.

Стрелочные переводы ремонтируются комплексно, со смежными стрелочными переводами и преимущественно в створе ремонта железнодорожного пути, на котором они эксплуатируются. При проведении капитального ремонта железнодорожного пути 1 – 3 уровней необходимо планировать в один проект капитальный ремонт стрелочных переводов.

Остаточный ресурс рассчитывается аналогично, приведенного в пункте 6.5.

Таблица 6.5

Критерии выбора плано-предупредительной выправки (В)

Критерии	Значение критерия по классам пути				
	1	2	3	4	5
Основные критерии					
Количество отступлений 2 степени шт./км в расчете на месяц в среднем за 3 последних месяца (скользящая оценка) превышает ¹¹ для линий:					
В, С, П	10	10	15	–	–
О	20	20	–	–	–
Г	25	25	30	30	40
Для В и С линий, на которых планируется выполнение плано-предупредительной выправки пути и стрелочных переводов в высокоточной координатной системе с использованием ГИТ ¹² :					
наличие высокоточной координатной системы	да	да	да	–	–
отступления от проектных решений в плане и профиле ¹³ , мм	имеются			–	–

¹¹ По показаниям вагона – путеизмерителя в среднем за 3 последних «весенних» месяца без учета отступлений по ширине колеи.

¹² Перед назначением В необходимо обеспечить съемку с использованием геоинформационных технологий и сравнение ее результатов с проектом.

¹³ При наличии фактических отступлений пути в плане и профиле от проектных данных, как правило, на величину более 100 мм по одному из параметров отклонения, при котором требуется изменение технологического процесса с учетом увеличения количества циклов прохода комплекса машин или применения машин тяжелого типа, назначение В считается нецелесообразным, рассматривается выполнение ремонта пути одним из видов промежуточного ремонта в соответствии с ремонтной схемой. Решение о выполнении работ определяется руководителем дирекции инфраструктуры на основании предложений службы пути с учетом оценки фактических данных по плану и профилю с проектными параметрами

Критерии	Значение критерия по классам пути				
	1	2	3	4	5
Дополнительные критерии					
Количество негодных шпал, % более ¹⁴	10	10	15	20	по усмотрению начальника дистанции пути (инфраструктуры)
Количество негодных узлов скреплений, % более ¹⁴	10	10	15	20	
Или загрязненность балласта, % ¹⁴	не более 10				
При снижении показателя СССП на км ⁴	5	5	7	7	–
Критерии УРРАН					
Индекс предотказов	более 0,18	более 0,18	более 0,3	более 0,4	по усмотрению начальника дистанции пути (инфраструктуры)

6.14. Для участков обращения скоростных и высокоскоростных поездов дополнительным критерием по назначению планово-предупредительной выправки может служить состояние по показателям плавности хода и уровня комфорта пассажиров.

6.15. Вне зависимости от критериев для назначения В:

планово-предупредительная выправка железнодорожного пути на участках скоростного и высокоскоростного движения назначается периодически в соответствии со схемой ремонта;

планово-предупредительная выправка назначается на участках ремонта железнодорожного пути прошлого периода по результатам его обкатки после капитального ремонта 1 – 3 уровней.

7. Нормативно-технические требования к конструкциям, типам и элементам железнодорожного пути

7.1. Требования, предъявляемые к конструкции и элементам верхнего строения железнодорожного пути, укладываемым при выполнении работ по капитальным ремонтам железнодорожного пути 1 – 2 уровня (КРН, КРС), приведены в таблицах 7.1 – 7.3.

Для участков пути высокоскоростного движения требования к конструкции и элементам верхнего строения пути должны соответствовать Специальным техническим условиям для проектирования и реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожной линии для скорости движения поездов до 250 км/ч включительно, разработанным для конкретного участка.

¹⁴ Для линий В принимается 30% от норматива, для линий С – 50%.