

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в акционерном обществе «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»)

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Певзнер Виктор Ошерович**

**Официальные оппоненты:** **Бельтюков Владимир Петрович**,  
доктор технических наук, доцент,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Петербургский государственный  
университет путей сообщения Императора  
Александра I», кафедра «Железнодорожный  
путь», профессор;  
**Атапин Виталий Владимирович**,  
кандидат технических наук, доцент,  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Самарский государственный  
университет путей сообщения», кафедра  
«Железнодорожный путь и строительство»,  
доцент.

**Ведущая организация:** Акционерное общество «Научно-  
исследовательский и конструкторско-  
технологический институт подвижного состава»

Защита состоится «16» мая 2024 года в 11:00 на заседании диссертационного совета 40.2.002.03 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ) по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр.9 (ул. Часовая, д. 22/2, стр. 2, ауд. 329).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РУТ (МИИТ) на сайте <http://www.rut-miit.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» марта 2024 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Гринь Елена Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **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.

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), 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.

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 «Г»), 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., Ашпица 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. Эвелда (C. Esweld), А. Зарембски (A. Zarembski), П. Фрелиха (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 февраля 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, утвержденную 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 «ГІ») 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 февраля 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.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приводится общая характеристика работы, дается краткое обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

**В первой главе** выполнен исторический обзор становления нормативной базы по критериям назначения работ по планово-предупредительной выправке пути на отечественных железных дорогах.

В главе проведен анализ ранее проведенных исследований по вопросам определения потребности в ремонтах на базе информации о состоянии конструкции пути и его элементов, а также рассмотрен опыт зарубежных железных дорог по схожей тематике. Установлено, что широкий спектр ранее проведенных исследований по определению потребности в ремонтах, в большей степени основан на использовании линейных зависимостей для неизменяемых условий эксплуатации.

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), что требует разработки соответствующих алгоритмов расчетов.

**Во второй главе** приведены результаты эксплуатационных наблюдений по оценке влияния условий эксплуатации и системы организации технического обслуживания пути на появление и развитие расстройств пути (отступлений по геометрии рельсовой колеи без учета ширины колеи) на примере опытных участков особогрузонапряженных линий.

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 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 изменения геометрии рельсовой колеи в различных условиях эксплуатации.

Отмечено, что 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.

Для оценки состояния пути в границах отдельных участков как системы, имеющей значительную протяженность по длине и изменяющуюся во времени (при наработке тоннажа), в работе предлагается Способ двухкомпонентной оценки стабильности участка пути по синтезу параметров стабильности по длине и во времени (при наработке тоннажа).

Численно стабильность пути может быть охарактеризована статистическими показателями состояния пути: средним количеством отступлений 2 степени (без учета отступлений по ширине колеи) на участке заданной длины –  $M$ , среднеквадратическим отклонением (далее – СКО) отступлений 2 степени на участке заданной длины –  $\sigma$  и суммарным количеством отступлений 2 степени на участке заданной длины –  $N$ , а динамика изменения стабильности пути – по изменению указанных показателей во времени (при наработке тоннажа).

Для проведения исследования были выбраны участки особогрузонапряженных линий в границах Горьковской (ДИ ГОРЬК), Южно-Уральской (ДИ Ю-УР) и Северной (ДИ СЕВ) дирекций инфраструктуры (грузонапряженность на участках в диапазоне 110-140 млн т бр/год). Общий объем статистической выборки, полученной по данным проходов вагонов-

путеизмерителей за двухлетний период, составил 479 км (что составляет 11 496 точек статистической выборки за 24 месяца).

По результатам проведенного исследования были получены следующие выводы:

1. По результатам анализа показателей стабильности участков пути по длине, определяемых по ансамблю данных с близких по характеристикам километров в момент времени  $t$  (тоннажа -  $T$ ), на базе расчета показателей:

$M_L$  – среднее количество отступлений 2 степени на длине перегона  $L$  (шт./км);

$\sigma_L$  – среднеквадратическое отклонение отступлений 2 степени на длине перегона  $L$  (шт./км),

установлено, что 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  $CvL = \sigma_L/M_L$ , с учетом вероятностной составляющей появления отдельных отступлений (теория выбросов случайных процессов).

2. По результатам анализа показателей стабильности участков пути во времени  $t$  (по тоннажу -  $T$ ), с учетом состава проведенных работ по техническому обслуживанию пути, характеризуемым:

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

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

установлено, что процессы накопления отступлений по геометрии рельсовой колеи во времени (по тоннажу) характеризуются стадиями стабильной работы пути и интенсивного роста расстройств.

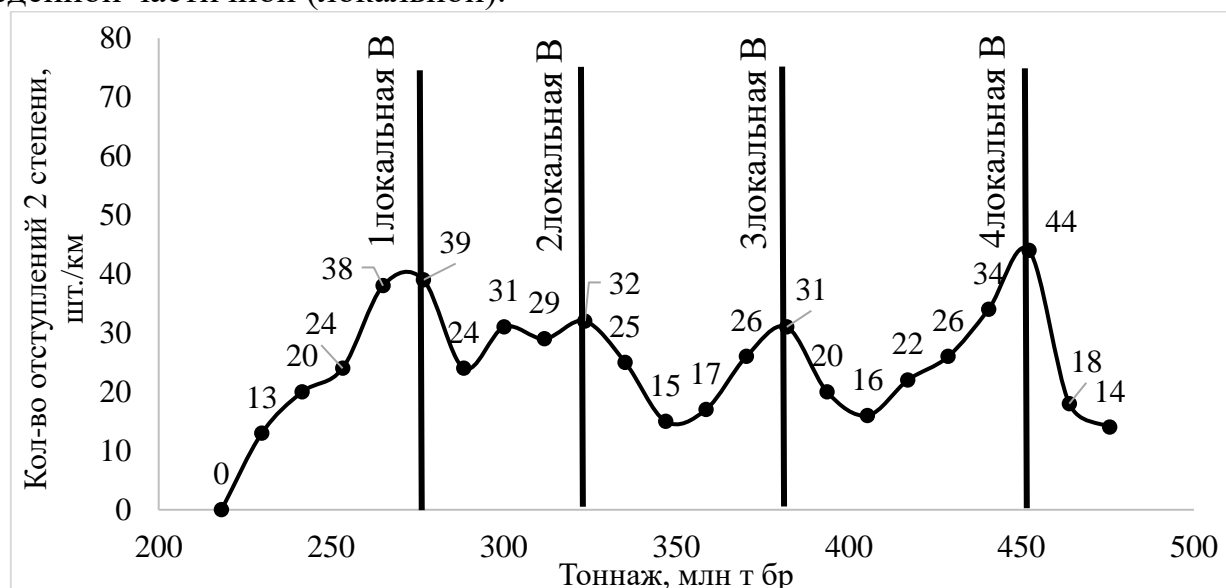
На опытных километрах, эксплуатируемых на различных стадиях жизненного цикла, в работе определялись показатели стабильности участков во времени ( $M^{t(T)}$  и  $\sigma^{t(T)}$ ), которые на примере участка с наработкой тоннажа до 475 млн т бр. за двухлетний период наблюдений (969 км 1 грузового пути направления Киров-Екатеринбург) составили – таблица 1.

Таблица 1 – Показатели стабильности 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 данном участке – рисунок 1 – показал, что на участке периоды стабильной работы пути практически отсутствуют, а после каждой 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).



**Рисунок 1** – Распределение количества отступлений 2 степени (без учета ширины колеи) в функции прошедшего тоннажа и выправочных работ на участке с наработкой до 475 млн т бр.

При этом на другом участке с большей наработкой тоннажа (более 850 млн т бр.), но после проведенного ремонта (РС/РП – при тоннаже 850 млн т бр.) и последующей выправки, наблюдается длительный период стабильной работы пути, поддерживаемый за счет работ по текущему содержанию пути – таблица 2, рисунок 2.

Таблица 2 – Показатели стабильности участка с наработкой более 850 млн т бр. после ремонта РС/РП

	$M^{t(T)}$ , 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



**Рисунок 2** – Распределение количества отступлений 2 степени (без учета ширины колеи) в функции прошедшего тоннажа и выправочных работ на участке с наработкой более 850 млн т бр. после ремонта РС/РП

Проведенный анализ показал, что при отсутствии (или несвоевременности) проведения промежуточных видов ремонтов (РС-РП) в середине межремонтного цикла (согласно ремонтным схемам в Правилах назначения ремонтов пути №2888р), показатели количества отступлений резко возрастают. В тоже время, на участках, где такой вид ремонта проводился, количество отступлений значительно ниже даже при наработке тоннажа более 850 млн т бр.

3. 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.

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  $L$  (1):

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

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):

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

где:

$\sigma_L$  – 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  $L$  (3):

$$\overline{\sigma_L^{t(T)}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} \sigma_L}{12} \quad (3)$$

Два последних показателя характеризуют линейный размах (разброс) системы во времени (в узком или широком диапазоне значений). Другими

словами, служат для оценки энтропии (разброса) системы во времени (в процессе эксплуатации).

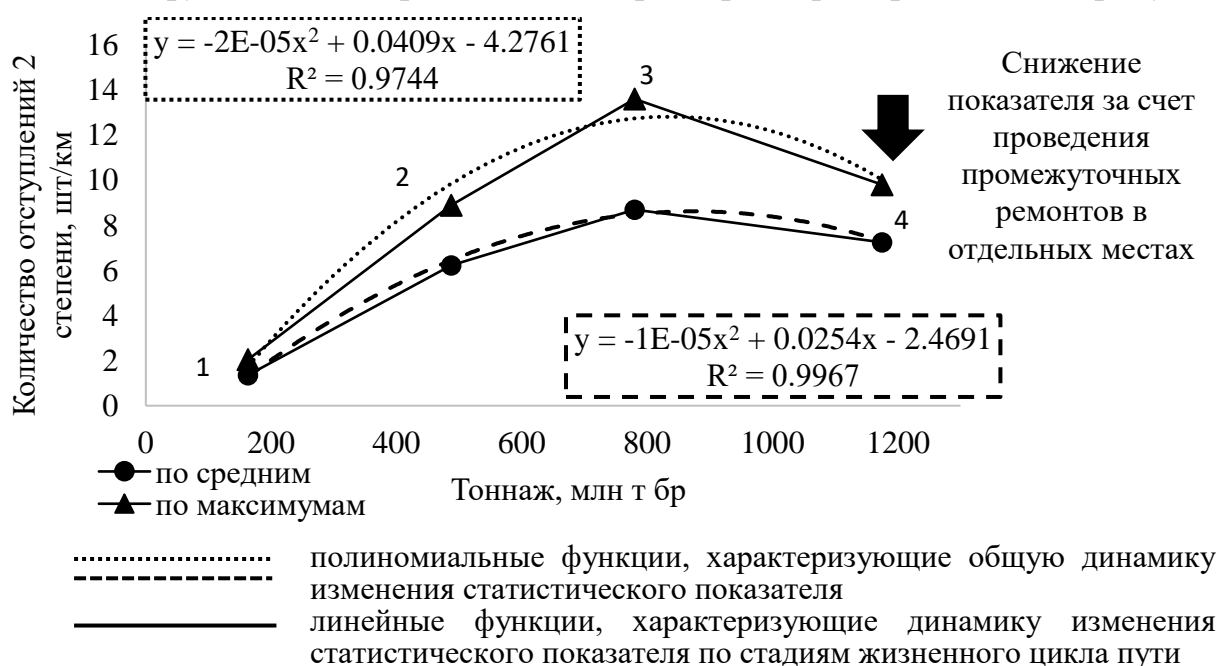
Обобщенные результаты проведенного анализа на участках грузового хода трех дирекций инфраструктуры показали, что даже при одинаковых условиях эксплуатации состояние пути может различаться в широких диапазонах значений, что обусловлено различной схемой организации работ по техническому обслуживанию пути 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 ДИ ГОРЬК и ДИ Ю-УР, что обусловлено своевременностью проведения ремонтов пути и выправочных работ).

Обобщив результаты проведенного исследования по оценке стабильности участков пути по длине и во времени (тоннажу) на опытных перегонах трех дирекций инфраструктуры, можно констатировать:

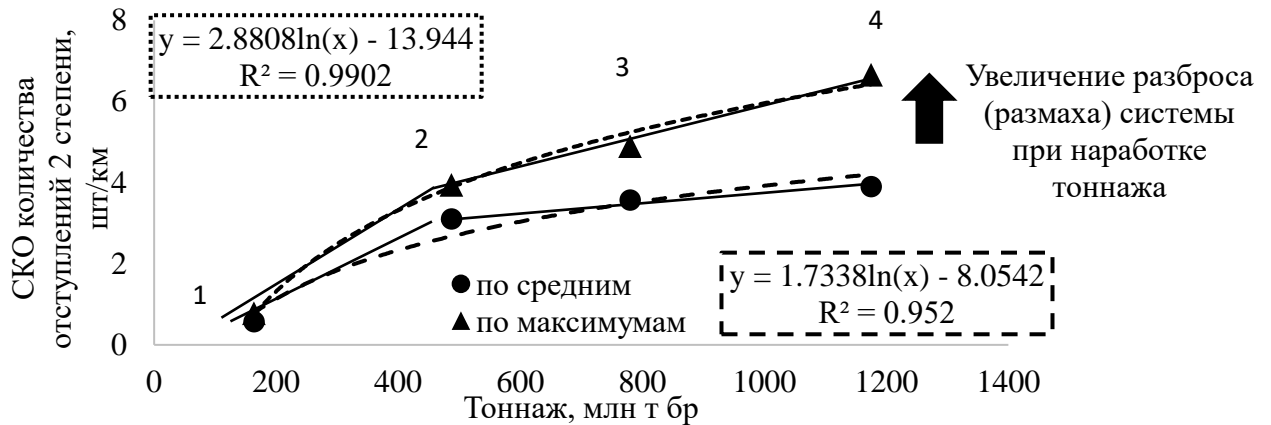
1. процесс изменения показателей стабильности пути по длине и во времени (при наработке тоннажа) не является равномерным и в общем виде описывается:

по показателю  $M_L^{t(T)}$  – полиномиальными функциями 2 порядка возрастающего и убывающего характера – пример для участков ДИ ГОРЬК приведен на рисунке 3;

по показателям  $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ ,  $\overline{\sigma_L^{t(T)}}$  – логарифмическими (в отдельных случаях – линейными) функциями возрастающего характера – пример показан на рисунке 4.



**Рисунок 3** – Зависимости среднегодового количества отступлений 2 степени ( $M_L^{t(T)}$ ) при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов ДИ ГОРЬК (1-4 – стадии жизненного цикла пути)



**Рисунок 4** - Зависимости СКО среднегодового количества отступлений 2 степени при наработке тоннажа, полученные по ансамблю данных с перегонов ДИ ГОРЬК по показателю  $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$  (условные обозначения аналогичны рисунку 3)

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;

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.);

4. максимальные значения показателей изменчивости статистической выборки по длине и во времени  $\sigma_{\delta L}^{t(T)}$ ,  $\sigma_L^{t(T)}$  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 этих участках существует опасность возможного резкого ухудшения состояния пути;

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

**В 3 главе** приведены результаты сетевого эксперимента по определению интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей (в мм/млн т) в различных условиях эксплуатации на сети (рассматривались участки особогрузонапряженных и грузовых линий).

В качестве объекта исследования в условиях сети в работе было принято решение рассматривать интенсивность роста амплитуд просядок (т.к. отступления

в вертикальной плоскости составляют более 60-70% на сети), а на отдельных участках особогрузонапряженных линий – дополнительно интенсивность роста неровностей в плане (рихтовка).

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.

Массив данных о состоянии пути с участков, общей протяженностью более 5 тыс. км (более 500 точек статистической выборки), группировался по диапазонам грузонапряженности и классов путей, согласно действующим нормативным документам [Правила назначения ремонтов железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. №2888/р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 03 февраля 2023 г. №234/р)].

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, должны назначаться неотложные работы по ликвидации расстройств пути, выявленных на этих участках.

Таблица 3 - 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		<u>121-140</u> >80	<u>101-120</u> >80	<u>61-100</u> 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	$\frac{1}{1,25}$	$\frac{1}{1,34}$	$\frac{1}{1,35}$	$\frac{2}{1,39}$



Продолжение таблицы 3

Группа ж. д. пути (специализация)	Код группы	Грузонапряженность, млн.ткм бр/км в год	Интенсивность прироста амплитуд просядков, мм/млн т бр.*			
			Допускаемые скорости движения, км/ч (числитель – пассажирские, знаменатель – грузовые)			
			$\frac{121-140}{>80}$	$\frac{101-120}{>80}$	$\frac{61-100}{61-80}$	до 60
Грузовая	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 просядков, мм/млн т бр.

2. Результаты дополнительно проведенного сравнительного анализа интенсивности роста неровностей в профиле (просадки) и в плане (рихтовка) в условиях осбогрузонапряженных линий (более 140 млн т/год) показали:

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

**В 4 главе** изложены предлагаемые подходы по совершенствованию системы планирования выправочных работ в условиях линий с высокой грузонапряженностью (специализации «О» и «ГП»).

1. Для определения потребности в работах оперативного характера предлагается метод, основанный на сочетании общей оценки состояния участка пути (фоновая составляющая, определяемая плотностью распределения отступлений по длине участка) и вероятностной составляющей появления отдельных отступлений на базе теории выбросов случайных процессов.

В работе принято, что выбросами являются отступления и неисправности, превышающие по амплитуде (А) значения интервала (М(А)+2σ) для участка заданной длины.

На рисунке 5 показано, что при увеличении средней амплитуды  $A_{cp}$  и СКО  $\sigma_{cp}$  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 5 б). Появление на участке заданной длины отдельных выбросов является одним из индикаторов потребности в проведении работ по их устранению.

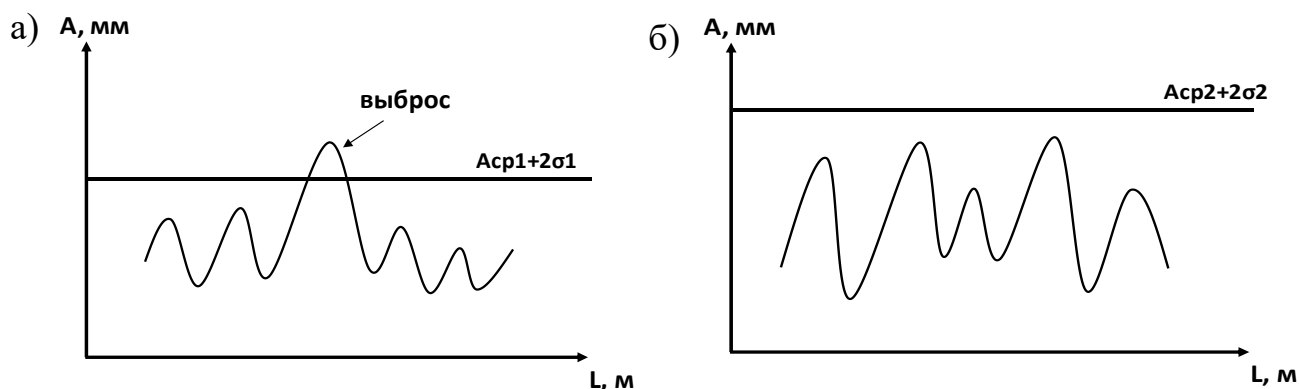


Рисунок 5 – Примеры реализаций случайных процессов

Предлагаемый метод оценки состояния участка пути может служить дополнением к существующей системе оценки отдельных отступлений и неисправностей (балловая оценка), не учитывающей общее состояние участка пути.

По результатам проведенного исследования предлагается следующая схема ранжирования участков по количеству выбросов с учетом имеющихся ресурсов для проведения работ – таблица 4.

Таблица 4 – Критерии оценки стабильности пути по количеству выбросов (по просадкам) на участке заданной длины с рекомендациями по приоритету проведения работ для линий специализации «О» и «ГІ»

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

1) во всех случаях при суммарном количестве отступлений 2 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.

На основании установленных закономерностей изменения интенсивности роста амплитуд отдельных неровностей в условиях сети определены следующие положения по уточнению порядка периодичности контроля состояния пути:

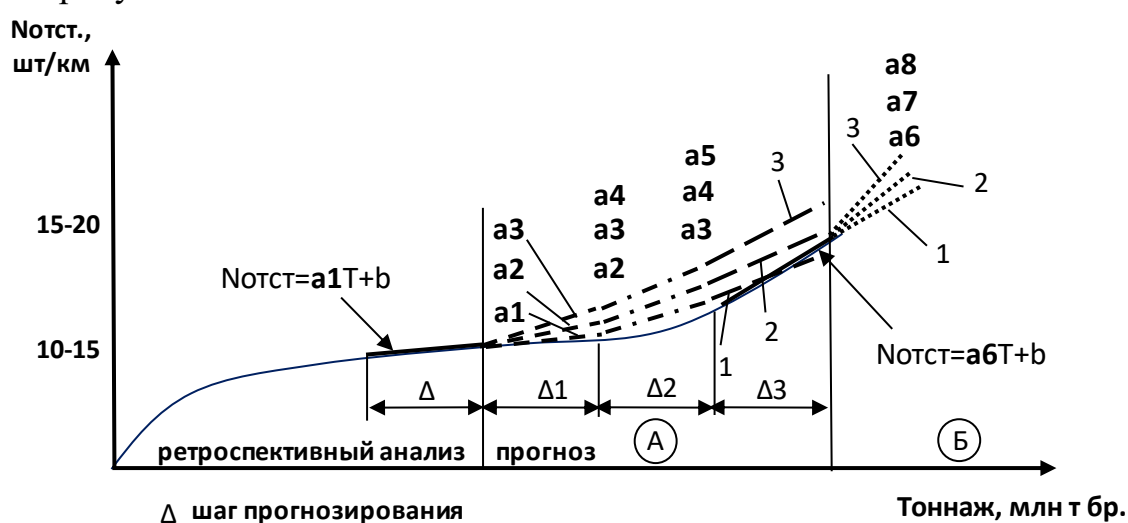
– в условиях обособленнонапряженных линий, где существует опасность резкого непредсказуемого ухудшения состояния пути, порядок должен включать возможность увеличения частоты проверок пути (подробно условия описаны в утвержденной Методике № ЦДИ-1103/р);

– в условиях низкой грузонапряженности необходимость в увеличении частоты проверок не представляется целесообразной;

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

2. Для определения потребности в выправочных работах на среднесрочный период разработана методология пошагового многовариантного прогнозирования показателей, характеризующих состояние пути, основанная на применении алгоритмов кусочно-линейной аппроксимации. Отработка методологии проводилась на примерах опытных участков грузовых ходов ДИ ГОРЬК и ДИ Ю- УР, суммарной длиной 332 км.

В общем виде разработанная методология прогноза состояния пути показана на рисунке 6.



**Рисунок 6** – Общий вид методологии 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

Как следует из рисунка 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).

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 (более, чем в 2 раза) в сторону увеличения.

Уточнение коэффициентов, а также шага прогнозирования, определяется опытным путем для каждого конкретного участка.

Результаты отработки предлагаемой методологии прогнозирования на примерах участков особогрузонапряженных линий позволили установить:

прогноз на короткий период около 30 млн т бр. в наибольшей степени подвержен влиянию выполнения работ по техническому обслуживанию и текущему содержанию, а также климатическим изменениям;

прогноз на среднесрочный период приближается к прогнозируемому варианту.

Таким образом можно констатировать, что прогноз на среднесрочный период является наиболее устойчивым.

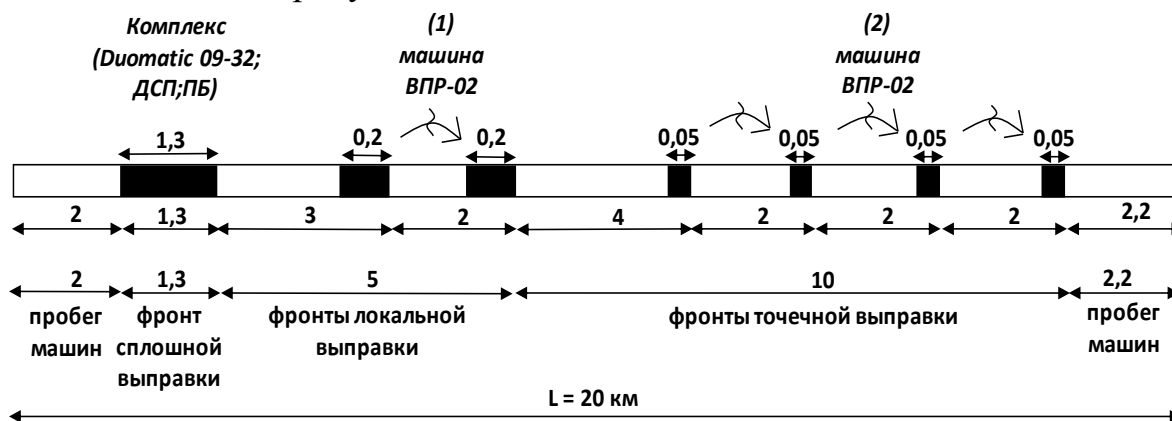
**В 5 главе** приведены предложения по оптимизации и технико-экономической оценке системы организации работ по техническому обслуживанию пути в условиях особогрузонапряженных линий.

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», в диссертационном исследовании предлагается вариант организации выправочных работ для оздоровления участка пути длиной в перегон в створовые «окна» продолжительностью 4 часа (и дополнительное «окно» - 2 часа) одновременно на нескольких фронтах тремя комплексами машин - рисунок 7.



**Рисунок 7** – Схема распределения участков выправочных работ на примере перегона длиной 20 км в створовые «окна» продолжительностью 4 часа по формам их организации

Количество задержанных поездов в таких условиях при классической схеме организации работ составит 45 поездов, а при предлагаемом варианте организации работ – 25 поездов, что меньше почти в 2 раза.

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 при реализуемой в настоящее время грузонапряженности в условиях, например, Восточного полигона - 185 млн ткм бр/км в год - 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 февраля 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 осбогрузонапряженных 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 работ, опубликованных автором по теме диссертации:****а) в рецензируемых научных изданиях:**

1. **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;

2. **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;

3. **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. Сластенин // Путь и путевое хозяйство. – 2022. – № 11. – С. 2-5;

4. **Баронайте, Р. А.** Определение перспективной потребности в выправочных работах / Р. А. Баронайте // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 8-10;

**б) в других изданиях и материалах конференций:**

5. **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, 19 и 26 ноября 2020 года / ОАО «Российские железные дороги», Российский университет транспорта (МИИТ). – Москва: Издательство «Перо», 2021. – С. 81-83;

6. **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;

7. **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;

8. **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;

9. **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 [и др.] // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2023. – № 1(61). – С. 36-41;

10. **Певзнер, В.О.** Исследование причин повреждаемости рельсов поверхностными дефектами на участках обращения электровозов 2ЭС10. Часть 2 / В.О. Певзнер, Р.А. Баронайте, В.В. Кочергин [и др.] // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2023. – № 2(62). – С. 56-61;

11. **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.

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  
(технические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2024 г.  
Усл. печ. л. – 1,5

Заказ №

Формат 60x90/16  
Тираж 80 экз.

---

129626, Россия, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, АО «ВНИИЖТ»