

На правах рукописи



Чечельницкий Александр Иванович

**СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУТИ ПРИ
НАЛИЧИИ ДЛИННЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ПРОДОЛЬНОГО
ПРОФИЛЯ НА УЧАСТКАХ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЯГИ И
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ**

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Певзнер Виктор Ошерович

Официальные оппоненты: **Ланис Алексей Леонидович**,
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Сибирский государственный
университет путей сообщения», кафедра
«Путь и путевое хозяйство», заведующий
кафедрой;

Колос Алексей Фёдорович,
кандидат технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Петербургский
государственный университет путей
сообщения Императора Александра I»,
кафедра «Строительство дорог
транспортного комплекса», заведующий
кафедрой.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Ростовский государственный
университет путей сообщения».

Защита состоится 17 мая 2024 г., в 13.30 на заседании диссертационного совета 40.2.002.03 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9 (ул. Часовая, д. 22/2, стр. 1, ауд. 329).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.miiit.ru.

Автореферат разослан «__» марта 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Гринь Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Развитие железнодорожного транспорта неразрывно связано с повышением скоростей движения поездов, повышением осевых нагрузок и веса грузовых поездов. Ретроспективный анализ показывает, что только с начала третьего тысячелетия средний вес поезда увеличился на 20%, а осевые нагрузки выросли на 26%.

Динамика роста эксплуатационных показателей движения, вождение грузовых поездов массой 7-9 тысяч тонн привели к неизбежному процессу развития деформаций земляного полотна. Протяжение деформирующихся участков на начало 2022 года составило 2588 км или 3 % от общей протяжённости сети. Одной из форм деформации земляного полотна является образование длинных неровностей.

Актуальность работы состоит в необходимости систематизации информации по наличию и параметрам длинных неровностей на сети и степени их влияния на вопросы безопасности движения и накопления расстройств пути, а также в разработке комплекса мер по обеспечению безопасности движения поездов и организации технического обслуживания участков пути на основе экспериментальной и теоретической оценки показателей взаимодействия подвижного состава и пути с длинными (до 200м.) неровностями и их сочетаниям с короткими неровностями при тяжеловесном движении.

Степень разработки темы исследования. Решению вопросов взаимодействия подвижного состава и пути с наличием неровностей различной длины и амплитуды были посвящены работы Абдурашитова А.Ю., Альбрехта В.Г., Ашпиза Е.С., Атапина В.В., Барабошина В.Ф., Бельтюкова В.П., Блажко Л.С., Бромберга Е.М., Богданова В.М., Воробьева Э.В., Вериги М.Ф., Грачевой Л.О., Гринь Е.Н., Глюзберга Б.Э., Данилова В.Н., Ермакова В.М., Ершкова О.П., Захарова А.Н., Замуховского А.В., А.Ф.Золотарского А.Ф., Зензинова Б.Н., Карцева В.Я., Каменского В.Б., Кудрявцева Н.Н., Конакова В.П., Когана А.Я., Карпущенко Н.И., Кондакова В.Н., Колоса А.Ф., Крейниса З.Л., Лысюка В.С., Левинзона М.А., Ланиса А.Л., Максимова И.Н., Мишина В.В., Новаковича В.И., Певзнера В.О., Прохорова В.М., Ромена Ю.С., Рыбкина В.В., Стояновича Г.М., Сергеевой Н.Ю., Сусллова О.А., Савина А.В., Сидоровой Е.А., Тихомирова В.И., Третьякова В.В., Федулова В.Ф., Фришмана М.А., Шахунянца Г.М., Шепитько К.В., Шульги В.Я..

Объектом исследования являются участки железнодорожного пути с длинными неровностями и их сочетания с короткими профильными неровностями.

Предметом исследования является система дополнительной оценки и управления состоянием пути при наличии длинных неровностей, полученных как геодезическими методами измерений, так и при числовой обработке данных мобильных путеизмерительных систем. Оценка влияния длинных профильных неровностей и их сочетаний с короткими неровностями на динамику подвижного состава при различных условиях эксплуатации.

Цель и задачи. Целью исследования является разработка научно обоснованной системы оценки влияния длинных неровностей пути и их сочетания с короткими неровностями на безопасность движения поездов и управления состоянием пути при наличии таких неисправностей.

Для достижения данной цели в работе поставлены следующие теоретические и практические задачи:

- определение натуральных параметров длинных неровностей в различных условиях эксплуатации;
- экспериментальная и теоретическая оценка влияния параметров длинных неровностей и их сочетание с короткими на показатели взаимодействия пути и подвижного состава;
- разработка предложений по совершенствованию системы технического обслуживания пути на участках с длинными неровностями.

Научную новизну представляют:

- анализ причин появления длинных неровностей;
- результаты определения степени влияния длинных неровностей и их сочетания с короткими на показатели взаимодействия пути и подвижного состава на участках тяжеловесного движения грузовых поездов.
- определение и систематизация параметров длинных неровностей на сети дорог ОАО «РЖД» в различных условиях эксплуатации;
- оценка реакций грузового подвижного состава на длинные неровности и их сочетаний с короткими неровностями.

Теоретическая значимость работы заключается:

- в построении обобщённых моделей оценки влияния длинных неровностей на показатели взаимодействия пути и подвижного состава в различных условиях эксплуатации,
- в доказательстве возможности использования обобщённых моделей оценки влияния длинных неровностей на показатели взаимодействия пути и подвижного состава для определения коэффициентов динамических добавок (Кд) при различных вариантах влияния продольных сил;
- в разработке алгоритма расчета оценки влияния длины и амплитуды длинных профильных неровностей и их сочетаний с короткими неровностями на динамические показатели;

- в изучении влияния продольных сил тяги и электродинамического торможения составов на динамические показатели подвижного состава при наличии в пути длинных неровностей продольного профиля;
- в раскрытии основных положений организации технического обслуживания пути при наличии длинных неровностей продольного профиля на участках максимальной тяги и электродинамического торможения.

Практическая значимость работы заключается:

- в разработке и утверждении распоряжением ОАО "РЖД" от 30.11.2023 №1322 изменений и дополнений в нормативы содержания пути и порядка выполнения работ (распоряжение ОАО «РЖД» от 28.02.2020 N 436/р «Об утверждении Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов») по параметрам длинных неровностей и их сочетания с короткими неровностями для проведения эксплуатационной проверки;
- в оптимизации системы технического обслуживания пути на грузонапряжённых участках с длинными неровностями, образовавшимися вследствие недостаточной несущей способности земляного полотна;
- в создании системы практических рекомендаций по организации работ, необходимых для устранения длинных неровностей, внедрённой на Северной железной дороге;
- в определении основных положений организации технического обслуживания пути при наличии длинных неровностей продольного профиля на участках максимальной тяги и электродинамического торможения.

Методология и методы исследования основаны на применении теоретических и экспериментальных методов исследования, а также эксплуатационных наблюдений, образующих в своей совокупности единый комплексный подход к получению результатов, их оценке и формированию научной новизны работы. Экспериментальная составляющая исследований включает в себя результаты поездок опытного состава на участке Малошуйской дистанции пути Северной железной дороги с одновременным измерением неровностей пути в диапазоне длин до 200 метров и показателей динамики подвижного состава. Теоретические методы исследований, использованные в данной работе, включают в себя:

- эффективное использование методов моделирования с применением широко апробированного комплекса «Универсальный механизм»;
- определение алгоритма расчета оценки влияния длины и амплитуды длинных профильных неровностей и их сочетаний с короткими неровностями на динамические показатели;

– использование современных подходов к сбору и анализу данных методами математической статистики для установления основных параметров длинных неровностей по их протяжённости и амплитуде;

– верификацию расчётной модели на основе использования в качестве возмущающей функции замеренных неровностей пути, а в качестве сопоставляемых данных (результатов динамических испытаний) определение расчётным путём влияния суперпозиции длинных и коротких неровностей в различных сочетаниях на изменения показателей динамики грузового вагона.

Эксплуатационные наблюдения заключались в определении параметров длинных неровностей в различных топографических и эксплуатационных условиях на равнинных и горных участках сети железных дорог.

Положения, выносимые на защиту.

– результаты экспериментального определения показателей динамики грузовых вагонов в зависимости от параметров длинных неровностей;

– результаты теоретических расчётов показателей динамики грузовых вагонов в программном комплексе «Универсальный механизм» с использованием в качестве возмущающей функции результатов оценки натуральных неровностей на опытных участках;

– результаты теоретической оценки влияния сочетания длинных и коротких неровностей на показатели динамики вагонов;

– результаты эксплуатационных наблюдений по определению параметров длинных неровностей в различных и эксплуатационных условиях;

– предложения по организации технического обслуживания пути при наличии длинных неровностей.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность определения параметров длинных неровностей подтверждена высокой степенью сходимости результатов числовой обработке данных мобильных путеизмерительных систем по определению параметров длинных неровностей и результатов измерения этих неровностей геодезическими сертифицированными инструментами. Теория построена на основе известных, проверенных данных, подтверждена результатами расчетов и экспериментальных исследований

Экспериментальные и расчетные показатели динамики грузовых вагонов при движении по длинным неровностям хорошо коррелируются между собой.

Основные положения диссертационной работы докладывались на XVII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути»,

посвященной памяти профессора Шахунянца Г.М., Москва, РУТ МИИТ (29 октября, 19 и 23 ноября 2020 года,

на первой международной научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» прошедшей в Российском университете транспорта 26 октября 2023 года,

на XX международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути», прошедшей в Российском университете транспорта 8-9 ноября 2023 года.

Результаты диссертации внедрены:

– Разработаны и утверждены для эксплуатационной проверки изменения в нормативы содержания пути и порядка выполнения работ (распоряжение ОАО «РЖД» от 28.02.2020 N 436/р «Об утверждении Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов») по параметрам длинных неровностей и их сочетания с короткими неровностями для проведения эксплуатационной проверки.

– Разработана система практических рекомендаций по организации работ, необходимых для устранения длинных неровностей, внедрённая на Северной железной дороге.

– Представлены рекомендации по эксплуатации пути на участках образования длинных неровностей.

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 153 страницах печатного текста, имеет 50 таблиц, 76 рисунков. Список использованных источников содержит 61 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрена актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, достоверность научных положений и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе диссертации проведён анализ нормативов по оценке геометрических параметров рельсовой колеи на отечественных и зарубежных железных дорогах.

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о том, что европейские нормативы в отличие от отечественных, помимо оценок при измерении от хорд путеизмерительной техники характеризуют и сами неровности, полученные

при математической обработке результатов измерений диагностическими комплексами.

С помощью этих данных формируются требования для различных измерительных систем, основанных на промерах от хорд различной длины.

Исходя из условий эксплуатации, когда вопрос увеличения провозной способности решается за счёт развития тяжеловесного движения, повышения осевых нагрузок, вопрос по оценке влияния длинных профильных неровностей в пути на безопасность перевозочного процесса требует рассмотрения не только для участков высокоскоростного движения, но и для всей сети дорог.

Во второй главе рассмотрены причины возникновения длинных профильных неровностей. Увеличение веса поезда и осевых нагрузок приводит к деформации земляного полотна. Как отмечалось в начале 30-х годов прошлого века профессором Сергеевым Б.Н. появление и развитие деформаций связано с происходящими в пути неупругими деформациями. Механизм появления и развития этих неровностей рассмотрен с помощью физико-математической модели разработанной учеными и специалистами РФЯЦ (г. Саров). Объяснена динамика изменения геометрии пути во время и после прохождения подвижного состава с использованием реологических моделей грунтового основания (реологическая модель стандартного твердого тела) (рисунок 1.1).

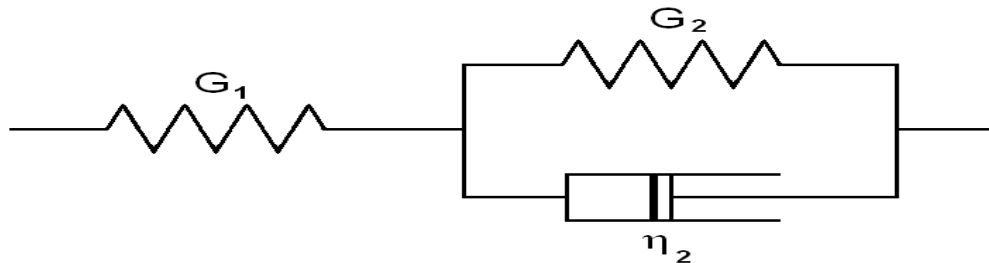


Рисунок 1.1 – Модель Кельвина - стандартного линейного твердого тела (G_1 и G_2 – упругие элементы, η_2 – вязкий элемент).

Расчёты по данной методике позволяют рассчитать осадку пути в зависимости от длины, массы и скорости движения состава или группы составов. Данные полученные ВНИИЖТ при анализе движения тяжеловесных поездов на участке Ковдор-Пинозеро (рисунок 1.2), позволили сделать вывод, что в случае движения группы поездов, когда интервал между поездами меньше времени релаксации пути, происходит накопление отступлений в вертикальной плоскости, которое может достигать значительных величин.

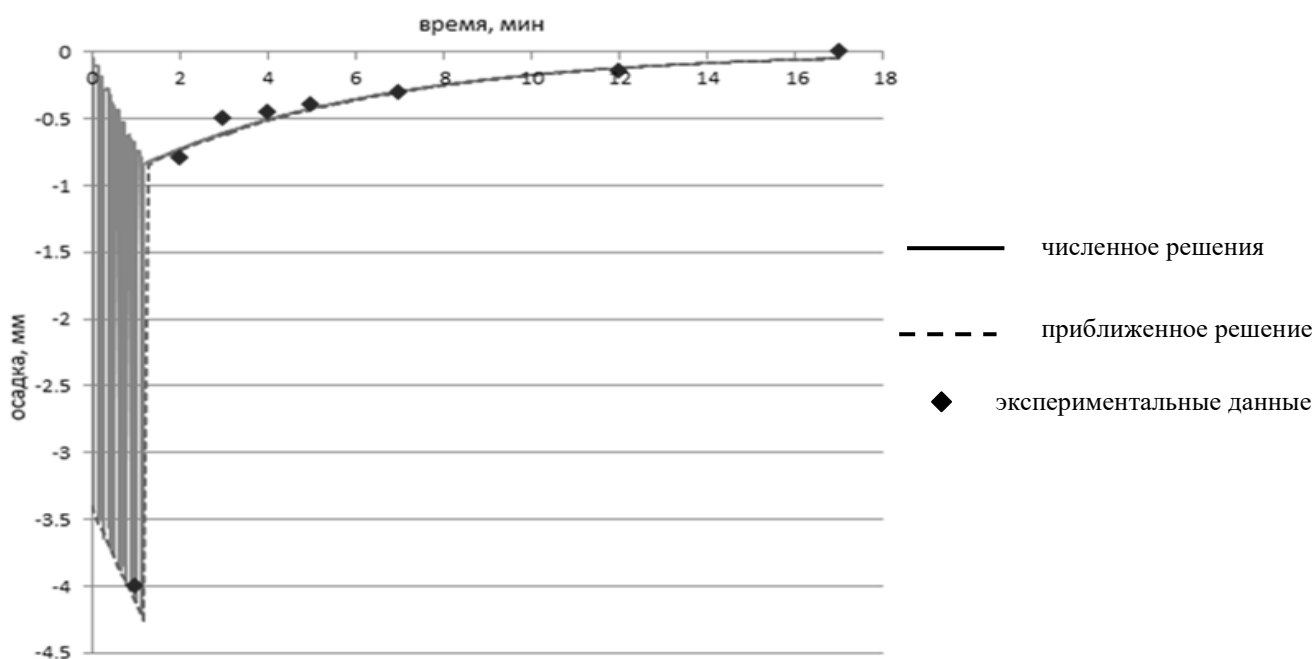


Рисунок 1.2 – Сравнение графиков осадки слоя грунта толщиной 400 см, полученных при численном решении уравнения стандартного линейного твердого тела (зеленая линия) и с использованием приближенного выражения для деформации (синяя пунктирная) с экспериментальными данными (красные маркеры).

Проведённый анализ теоретических работ по длинным неровностям показал, что в ряде работ проводились исследования влияние резкого изменения силы инерции при переходе локомотива через перевал от конца старого участка к новому на раскачивание буферных пружин [20]. Математические модели движения поезда по переломам профиля анализировались учеными и практиками железнодорожной отрасли [21,22,23]. В работе д.т.н. Вершинского С.В., к.т.н. Данилова В.Н., к.т.н. Хусидова В.Д. [24] проводилась оценка сил возникающих в автосцепках при прохождении вершин профильных неровностей. В работе к.т.н. Шапетько К.В. оценивалось влияния длинных неровностей на деформативность пути и безопасность движения поездов. К.т.н. Сидоровой Е.А. были проведены теоретические расчеты по определению показателей взаимодействия подвижного состава и пути при движении по пути с такими неровностями и сделан предварительный вывод о возможности частичного обезгруживания тележки гружёного вагона, находящегося в составе поезда, идущего по длинным неровностям в режиме тяги (рисунок 1.3).

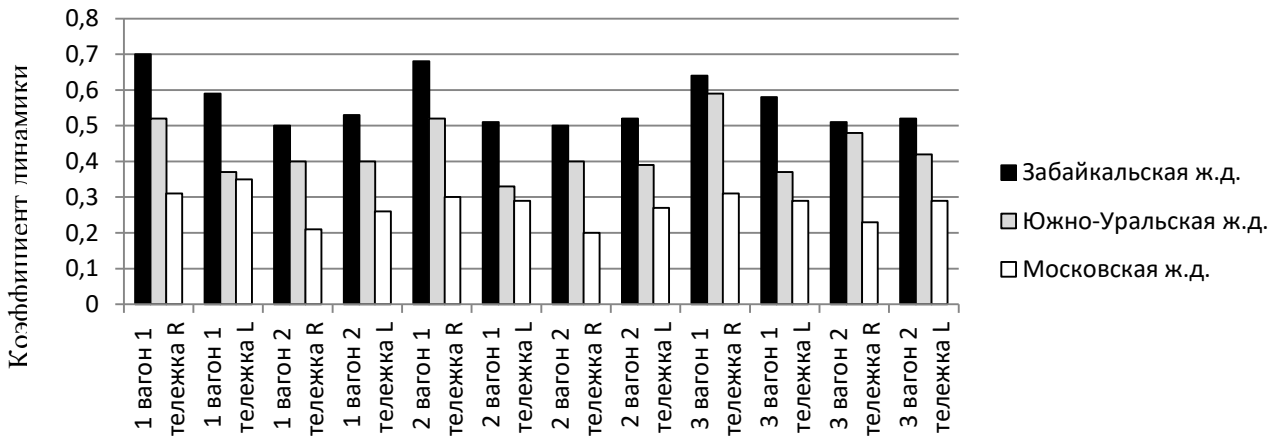


Рисунок 1.3 – Оценка возможности схода колеса с рельса по коэффициентам динамики.

Проанализированы характеристики существующих профильных неровностей на основе данных проходов путеизмерительных вагонов на участках Горьковской, Северной, Октябрьской, Московской, Свердловской, Дальневосточной железных дорог, а также на участках крушений и сходов подвижного состава допущенных на Московской, Забайкальской, Южно-Уральской и Дальневосточной железных дорог. Представлены выводы о наличии на участках с длинными неровностями сочетаний длинных и коротких профильных неровностей с определением их основных параметров и закономерностей (таблица 1).

Использован математический аппарат, позволяющий задавать расчеты в частотной области с учетом характеристик передаточных функций для соответствующих измерительных систем. Проведенные исследования показали, что результаты получаемые с помощью преобразования данных полученных измерительными системами диагностического вагона хорошо коррелируются с данными, которые получены натурным геодезическим

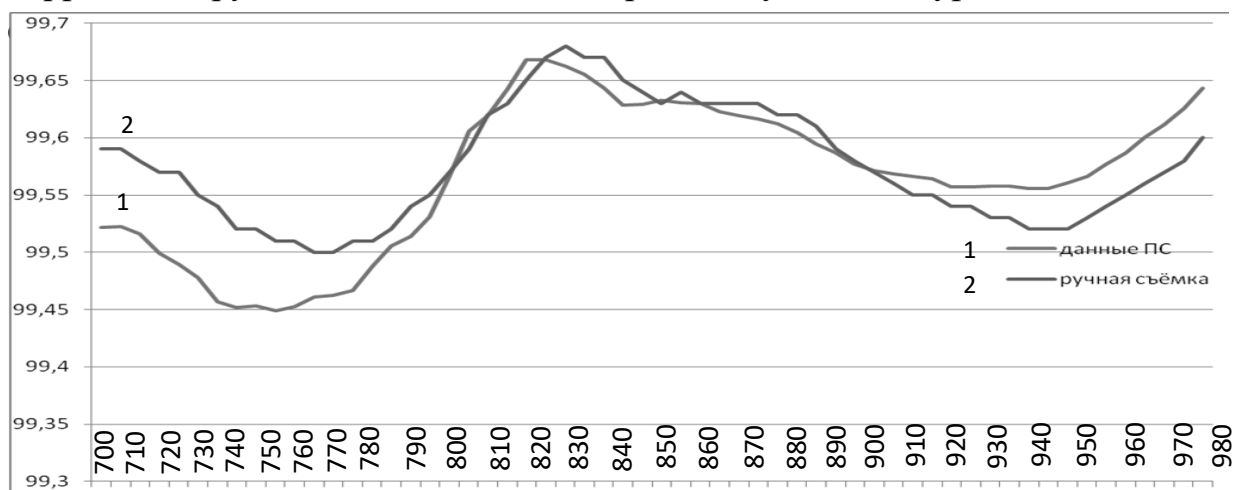


Рисунок 1.4 – Сопоставление данных натуральных промеров и преобразованных данных ПЧ-8 Московской железной дороги.

Таблица 1 – Характеристики длинных неровностей в профиле на участках анализа.

Дорога	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона профиля, ‰	Примечание
	min	max	средняя	min	max	средняя	max	
Горьковская	36	81	55	57	108	90	4,9	участки с кривыми малого радиуса
Северная	22	125	60	50	115	90	8,1	грузонапряжённые участки
Октябрьская	5	55	19	30	120	64	6,4	участки скоростного хода
	18	59	42	38	125	73	4,7	
Московская	75	164	110	83	200	125	7,8	участки со стрел. переводами
Свердл.	34	119	72	55	103	86	7,5	перевальный участок
Д-Вост.	45	54	51	63	76	70	5,0	участки с кривыми малого радиуса
Моск. Заб. Юж-Ур. Д-Вост.	63	142	-	81	115	-	9,3	участки сходов
Красноярская	30	110	60	45	100	72	9,1	участки сложного профиля (подъемы и спуски до 15,8‰)
	26	135	70	44	125	80	11,4	
С-Кав.	35	100	65	25	100	70	12,4	
Горьк.	25	110	64	30	100	84	7,7	

Проанализирована связь между оценкой состояния пути по существующим нормативам (инструкции по оценке состояния пути 43бр), комплексной оценкой состояния пути (КОСП), параметрами длинных неровностей в профиле, полученными по результатам проходов путеизмерительных вагонов и натурными профильными неровностями на участках высокоскоростного движения линии Москва – С.Петербург и грузонапряжённого участка Маленга – Обозерская, а так же участков, где были допущены сходы подвижного состава, которые показали, что диагностические комплексы не во всех случаях выявляют длинные неровности.

На основании проведённой работы сделаны следующие заключения:

1. По длине параметры неровностей в профиле распределились в диапазоне от 30 до 200 м, по амплитуде – от 22 до 142 мм. (рисунок 1.5)

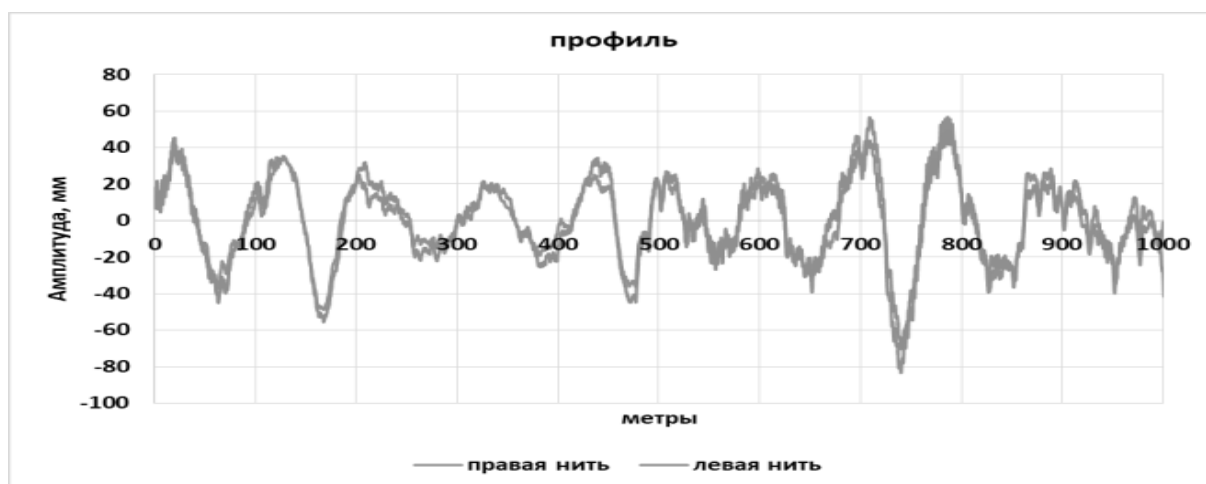


Рисунок 1.5 – Неровности продольного профиля на месте схода подвижного состава (100 км, 1 путь, Дальневосточная железная дорога).

2. Неровности с наибольшими значениями амплитуд в профиле выявлены на перевальных участках с большими уклонами (подъемы и спуски), а также в местах стрелочных переводов или искусственных сооружений.

3. На участках с длинными профильными неровностями выявлены сочетания длинных и коротких неровностей (короткие неровности в профиле – просадки, перекосы, уровень – контролируются путеизмерительными вагонами и нормируются в соответствии с Инструкцией по оценке состояния пути 436р).

4. Наибольшее количество отступлений 2 степени в профиле (просадок, перекосов, отступлений по уровню) на перевальных участках на участках с длинными профильными неровностями составило 22 шт/км .

5. В ряде случаев участки с амплитудами длинных неровностей до 135 мм имеют «отличную» балловую оценку по основным и дополнительным параметрам.

Анализ полученных зависимостей показал, что наиболее неблагоприятным сочетанием являются участки с сочетанием коротких неровностей в профиле с длинными неровностями с амплитудой более 100 мм и алгебраической разностью уклонов смежных элементов более 6‰.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований, проведённых на участке Обозерская – Малошуйка Северной железной дороги 28-30 сентября 2021 года. Опытный поезд состоял из электровоза ЧС-4Т-267 и двух гружёных полувагонов с нагрузкой 23,5 т/ось (рисунок 1.6)



Рисунок 1.6 – Схема размещения датчиков на опытном вагоне.

При проведении испытаний были определены следующие показатели:

- на обоих опытных грузовых полувагонах – вертикальные перемещения автосцепок;
- с учётом необходимости определения реакций грузового состава на длинные неровности на втором грузовом полувагоне (по обеим сторонам над первой осью) – вертикальные ускорения на кузове.

Анализ результатов испытаний показал, что на всем участке испытаний перемещения автосцепок на обоих вагонах не превысили нормативного показателя (40 мм.) и колебались на участке от 10 до 30 мм. Это свидетельствует о том, что опытный подвижной состав и путь находятся в состоянии, удовлетворяющем требованиям нормативных документов.

Оценка показателей динамики вагона выполнялась в соответствии с таблицей 14 ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам». В ходе проведения испытаний были получены ускорения на кузове для второго вагона на каждом километре участка Обозерская – Малошуйка. Результаты испытаний показали, что на всем участке ускорения на кузове не превысили нормативного показателя $0,45g$ или $4,5 \text{ м/с}^2$, в том числе и на опытных участках (рисунок 1.7).

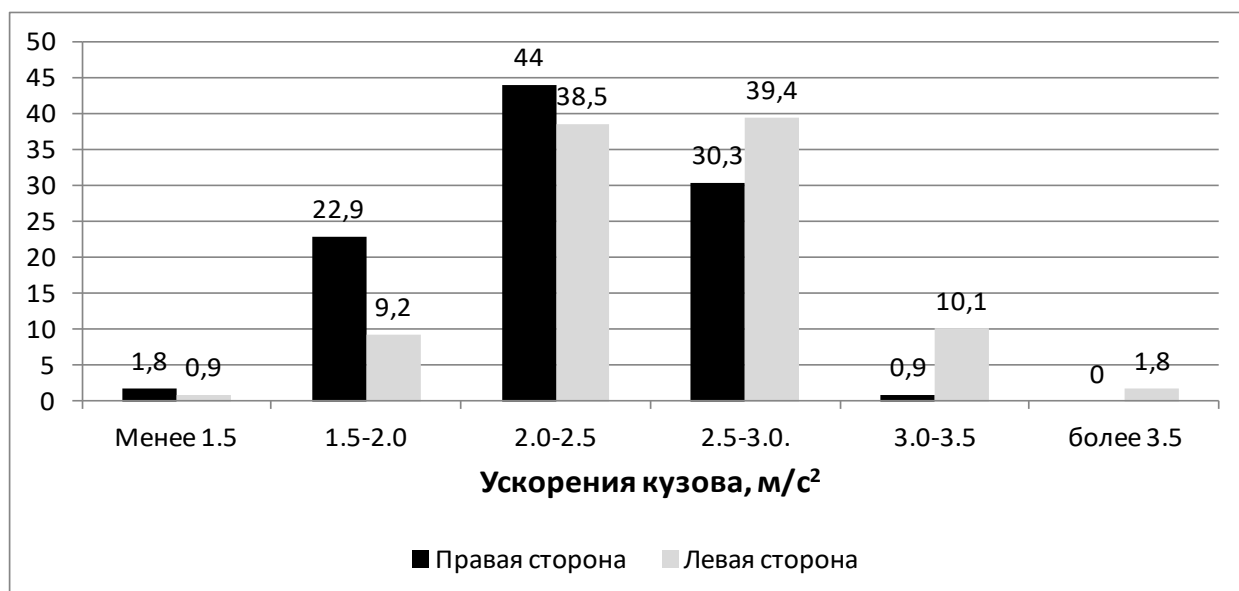


Рисунок 1.7 – Распределение средних ускорений кузова в процентах от общего количества на участке Обозерская – Малошуйка.

При сопоставлении результатов определения параметров длинных неровностей на участке испытаний, полученных при геодезической съемке и при обработке промеров ГРК системами ДКИ, был сделан вывод о том, что полученные результаты хорошо коррелируются между собой.

В четвёртой главе с целью определения показателей взаимодействия пути и подвижного состава при его движении по пути с наличием длинных неровностей и их сочетаний с короткими неровностями проведены расчёты в программном комплексе «Универсальный механизм».

Коэффициент динамики (Кд) в качестве показателя взаимодействия пути и подвижного состава выбран как характеризующий обобщенную реакцию подвижного состава на неровности и их сочетания в различных режимах движения. Так же, на основе результатов эксплуатационных наблюдений для расчета были выбраны параметры длинных неровностей пути. Длины коротких неровностей выбирались на основе инструкции 436р в границах второй степени для скорости 50 км/ч.

Для определения показателей коэффициента динамики были математически смоделированы три длинные неровности и три короткие, заданные в программный комплекс «Универсальный механизм»:

- неровность длиной 25 метров и амплитудой 16 мм (L25A16)
 - неровность длиной 45 метров и амплитудой 30 мм (L40A30)
 - неровность длиной 65 метров и амплитудой 35 мм (L65A35)
 - неровность длиной 10 метров и амплитудой 15 мм (L10A15)
 - неровность длиной 10 метров и амплитудой 20 мм (L10A20)
 - неровность длиной 10 метров и амплитудой 23 мм (L10A23)
- Неровности задавались периодической функцией,

$$X_i = A \sin \frac{2\pi k i}{N}$$

где k – номер гармонической составляющей

A – составляющая k -ой гармонической составляющей

N – длина выборки

i – порядковый номер моделируемого значения.

В случае расчётов Кд при сочетании длинной и коротких профильных неровностей применялась формула:

$$X_i = A_1 \sin \frac{2\pi k i}{N} + A_2 \sin \frac{2\pi k i}{N}$$

где A_1 – составляющая k -ой гармонической составляющей (длинная неровность)

A_2 – составляющая k -ой гармонической составляющей (короткая неровность)

N – длина выборки

Для учёта воздействия на подвижной состав режимов ведения поезда в расчётах предусмотрено учитывать силу тяги и торможения величиной до 800 кН, что соответствует допускаемому значению для локомотивов с асинхронными тяговыми двигателями. Технические и эксплуатационные параметры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические и эксплуатационные параметры для расчётов.

Вариант расчёта	1	2	3
Тип подвижного состава	полувагон (груженный)	полувагон (груженный)	полувагон (груженный)
План пути	прямая	R=533м	R=533м
Непогашенное ускорение		-0,3 м/с ²	-0,3 м/с ²
Скорость	50 км/ч	50 км/ч	50 км/ч
Вариант расчёта	1	2	3
Максимальная силовая составляющая режима тяги или торможения для локомотивов с асинхронными двигателями		800кН	800кН
Максимальный уклон	0‰	+9‰	-11‰

Результаты расчета коэффициентов динамики при движении в прямом участке пути (вариант 1) с наличием длинных неровностей и с наличием коротких неровностей без учёта силы тяги или рекуперативного торможения приведены на рисунке 1.8

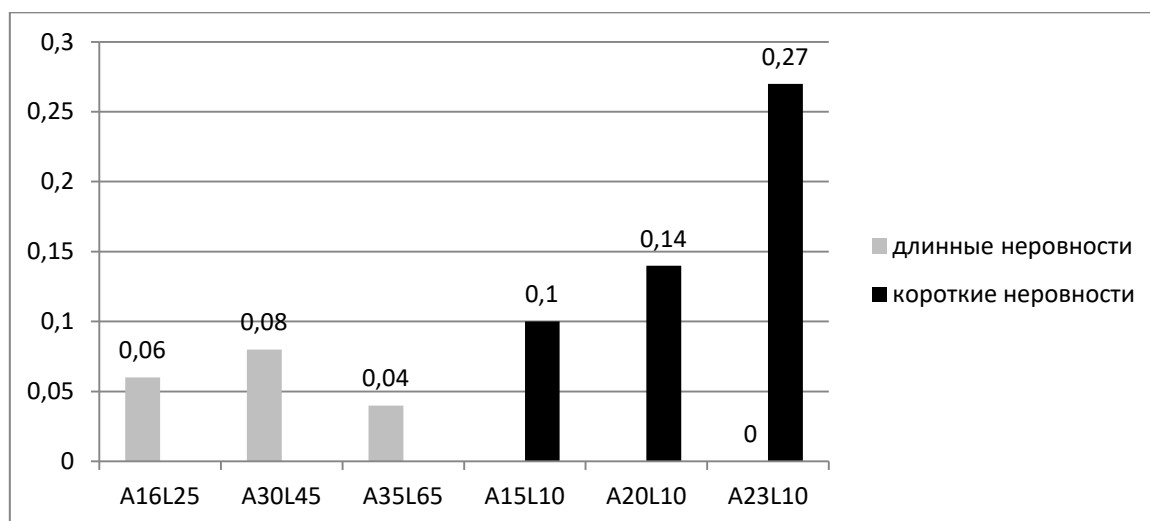


Рисунок 1.8 – Величины коэффициентов динамики при движении по прямой с наличием длинных неровностей и с наличием коротких неровностей.

Полученные максимальные значения коэффициента динамики при движении по длинным и по коротким неровностям не превышают значения 0.27 и соответствуют уровню оценки «хорошо».

Таблица 3 – Расчеты коэффициента динамики в трех режимах движения в прямом участке.

Движение по прямой			
Параметры неровности	Без тяги/торможения	Тяга	Торможение
<i>Короткие неровности</i>			
A20L10	0,22	0,5	0,4
A25L10	0,3	0,65	0,6
<i>Длинные неровности</i>			
A60L50	0,06	0,1	0,12
<i>Сочетание длинных и коротких неровностей</i>			
A60L50+A20L10	0,22	0,8	0,8
A60L50+A25L10	0,3	0,9	0,85

В таблице 3, приведенной выше представлены расчеты коэффициента динамики в трех режимах движения (без тяги/торможения, тяга, торможение), а также в трех вариантах задания неровностей (короткие неровности, длинные неровности, сочетание длинных и коротких неровностей). Значения коэффициента динамики только при длинных неровностях, при коротких неровностях во всех режимах не превышают допустимых значений. Также сочетания неровностей без режима тяга/торможение не выходят за рамки допустимых значений, в отличие от сочетаний неровностей с приведенными режимами. Данные расчеты показывают влияния режима движения на значения коэффициента динамики. Данная тенденция сохраняется при расчетах с измененной макрогеометрией при смене с прямого участка пути на кривой участок. Расчет коэффициентов динамики в кривых участках пути представлен

в таблице 4. При наличии режима движения, такие как тяга и торможение, заметно кратное увеличение коэффициентов динамики. Также можно отметить в движении по кривой заметное увеличение коэффициентов динамики отдельных неровностей как коротких, так и длинных, а сочетания таких неровностей превосходят допустимые значения. При этом разница величин коэффициентов динамики при сочетании коротких неровностей и длинных в прямых и кривых участках пути составляет 5-10%, что говорит о снижении влияния макрогеометрии пути на величину коэффициента динамики.

Таблица 4 – Расчеты коэффициента динамики в трех режимах движения в кривом участке пути.

Движение по кривой			
Параметры неровности	Без тяги/торможения	Тяга	Торможение
<i>Короткие неровности</i>			
A20L10	0,4	0,6	0,63
A25L10	0,5	0,72	0,75
<i>Длинные неровности</i>			
A60L50	0,12	0,16	0,16
<i>Сочетание длинных и коротких неровностей</i>			
A60L50+A20L10	0,48	0,8	0,87
A60L50+A25L10	0,64	0,98	0,9

В пятой главе проведён обзор существующих технологий по устранению длинных профильных неровностей. Разработан порядок определения объёмов работ и объёма необходимых материалов. Подробно рассмотрены результаты работ по базовым вариантам: выправки неровностей) и срезки «бугров» (рисунок 1.13а,б).

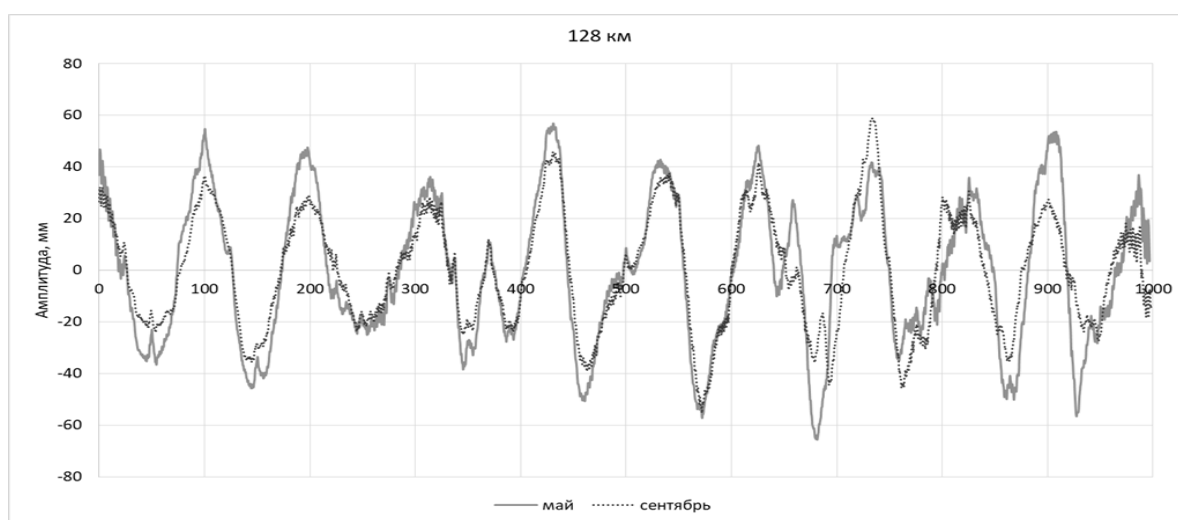


Рисунок 1.13а – Результаты работ по выправке профильных неровностей на 128 км участка Чум - Лабитнанги.

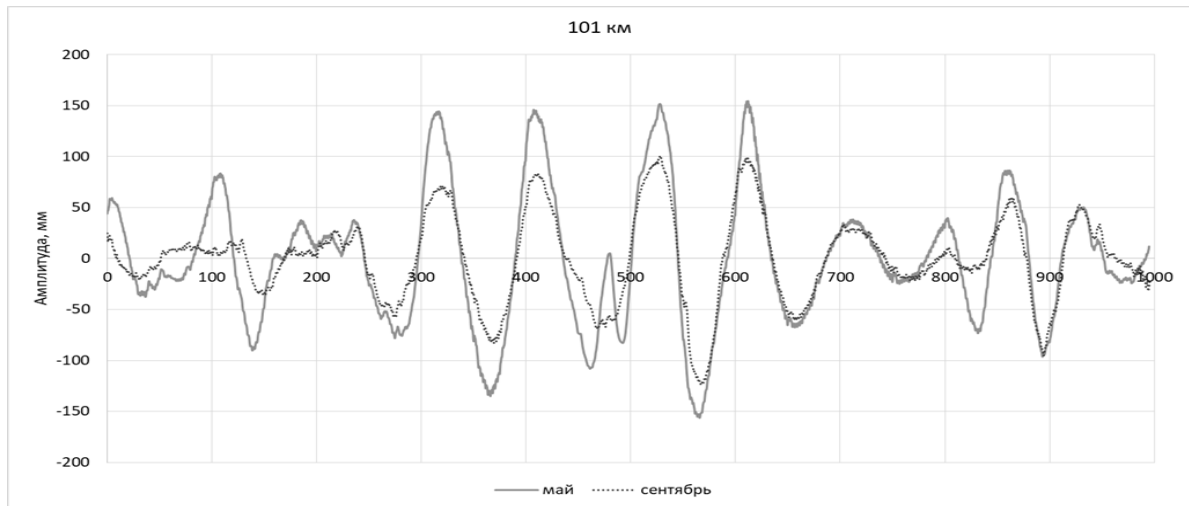


Рисунок 1.136 – Результаты работ по «срезке бугров» на 101 км участка Чум-Лабитнанги.

Рассмотрены процессы использования геоинформационных технологий при выправке пути и получаемые результаты (рисунок 1.14).

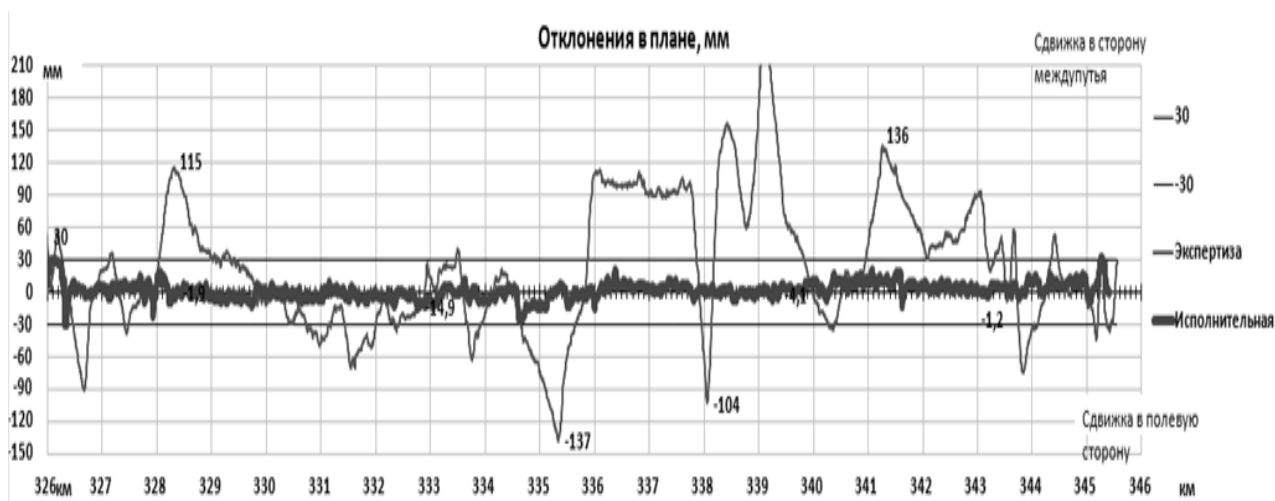


Рисунок 1.14 – Исполнительная съёмка измерительной тележкой Trimble участка Бушевец – Академическая Октябрьской железной дороги.

На основании выводов сделанных в главе 4 и рассмотренных технологических процессов разработана система технического обслуживания пути при наличии сочетаний длинных и коротких профильных неровностей на пути.

В шестой главе проведён расчёт экономического эффекта при выборе оптимальной технологии устранения сочетаний длинных и коротких профильных неровностей. Выводы, сделанные в главе 4, говорят о том, что величина коэффициента динамики (КД) при сочетании длинных неровностей и коротких неровностей вкуче с продольными силами и движением в кривой в ряде случаев превышает уровень оценки «допустимый». В то же время в случае отсутствия сочетаний длинных профильных и коротких неровностей показатели коэффициента динамики находятся в пределах допустимых значений. Отсюда следует, что для обеспечения допустимого уровня коэффициента динамики достаточно устранить один и слагаемых факторов: длинную профильную неровность, короткую профильную неровность (просадку) либо силовой параметр (режим тяги или торможения).

Режим ведения поезда (силового воздействия на подвижной состав) зависит от профиля и плана пути, веса поезда, рода тяги, обеспечения тормозами и многих других менее значимых факторов. Поэтому, исходя из конкретных участков пути, эта составляющая не может быть переменной.

Рассмотрено два оставшихся варианта. Вариант №1 – устранение коротких профильных неровностей (просадки, перекосов) в рамках текущего содержания, без перерыва в движении поездов.

Вариант №2 – устранение длинных неровностей в профиле с использованием комплекса путевых машин в «окно», с оценкой стоимости выполнения работ и влияния на пропускную способность участка (условные потери от непроведённых по участку грузовых поездов исходя из утверждённых расходных ставок).

Для расчёта приняты условные усреднённые характеристики участка и исходные данные:

участок пути – двухпутный, электрофицированный,
рельсы Р-65, путь – бесстыковой, шпалы - железобетонные,
скрепления – ЖБР-65ПШМ,
щебёночный балласт фракции (25-60) без загрязнённости,
план пути – кривая 600 м., профиль – подъём 9 ‰, длина перегона – 10 км.

На участке производства работ длинная профильная неровность с размерами: длина – 92 м, амплитуда – 70 мм..

Кроме того, на этой неровности имеются – 8 шт. отступлений 2 ст.

(пр-14/4, пр-16/5, пр-13/4, пр-15/4, пр-17/5, пр-14/4, П-16/17, П-14/10).

Затраты по варианту №1 с учётом фонда оплаты труда (ФОТ), отчислений на социальные нужды, накладных затрат, топлива составил – 30361,78 рублей.

Затраты по 2 варианту с учётом ФОТ, отчислений на социальные нужды, накладных затраты, топлива, амортизации, прочих материальных затрат и материалов составили – 42496,83 рублей.

Исходя из принятых параметров железнодорожных линий, учитывая средний вес поезда по данным за 2022 год (4064 тонн) и утверждённых расходных ставок рассчитаны и приведены в таблице 5 результаты потерь из-за задержанных грузовых поездов.

Таблица 5 – Потери от проводимого «окна» на различных классах линий.

Класс ж.д. линии	среднее кол-во задержанных грузовых поездов в сутки	Поездов в "окно"	Оценка стоимости потерь, рублей
1	54	4,125	79 468,11
2	27	2,063	39 734,06
3	13	0,993	10 435,21
4	7	0,535	10 301,42
5	4	0,306	5 886,53

Проведённые расчёты и сравнение затрат на работы по устранению неисправностей по двум вариантам показали (рисунок 6.1) что разница в зависимости от класса железнодорожной линии составляет от 59% на 5 классе, до 401 %.

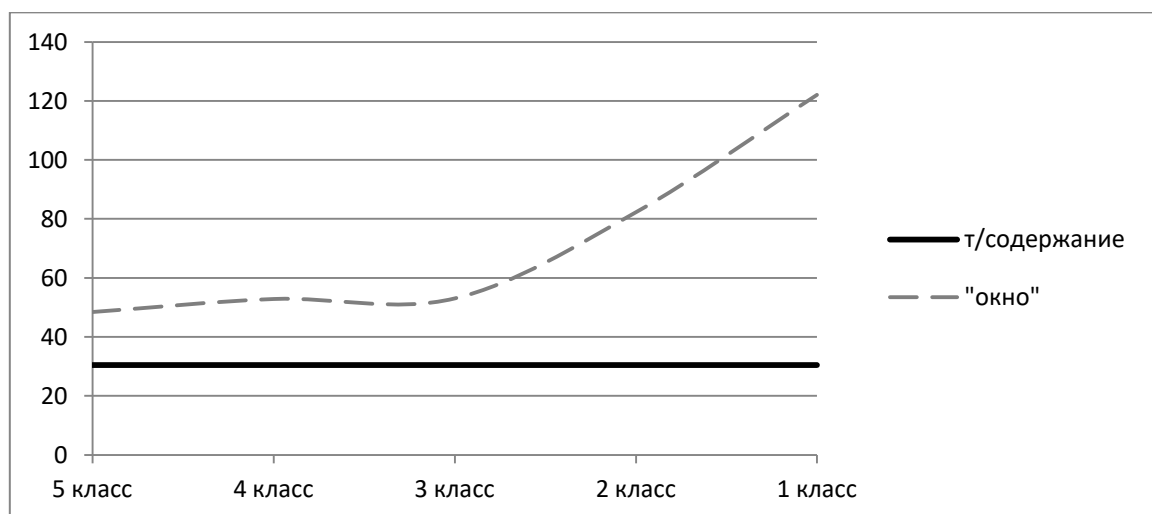


Рисунок 1.15 – Сравнение затрат по двум вариантам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования получены следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1 Обобщены результаты научных исследований по причинам образования длинных профильных неровностей и их влиянию на показатели динамики подвижного состава, на интенсивность накопления неисправностей и, как следствие, на безопасность перевозочного процесса.

2 Систематизированы параметры длинных неровностей на сети дорог ОАО «РЖД» в различных условиях эксплуатации, расположившиеся по длине в диапазоне от 25 до 200 м, а по амплитуде от 22 до 164 мм;

3 Доказана возможность использования обобщённых моделей оценки влияния длинных неровностей на показатели взаимодействия пути и подвижного состава для определения коэффициентов динамических добавок (Кд) при различных вариантах влияния продольных сил;

4 Изучено влияние продольных сил тяги и электродинамического торможения составов на динамические показатели подвижного состава при наличии в пути длинных неровностей продольного профиля;

5 Доказано, что наиболее неблагоприятное воздействие на показатели динамики подвижного состава имеют сочетания неровностей на участках максимальной тяги и электродинамического торможения;

6 Введено новое понятие в систему организации технического обслуживания пути - немедленное устранение сочетаний длинных неровностей с просадками 3-ей степени и 2-ой степени близкой к 3-ей;

7 Разработана технология устранения длинных неровностей и их сочетаний с короткими неровностями для обеспечения безопасного движения поездов;

8 Разработана научно-обоснованная система организации технического обслуживания пути при наличии длинных неровностей

продольного профиля на участках максимальной тяги и электродинамического торможения;

9 Определены перспективы оптимизации системы технического обслуживания пути на грузонапряжённых участках с длинными неровностями, образовавшимися вследствие недостаточной несущей способности земляного полотна;

10 Разработаны и утверждены распоряжением ОАО "РЖД" от 30.11.2023 №1322 предложения по изменению нормативов содержания пути и порядка выполнения работ [5] по параметрам длинных неровностей и их сочетаний с короткими неровностями для проведения эксплуатационной проверки.

11 Рекомендуются применение разработанной системы технического обслуживания пути в качестве типовой при наличии длинных неровностей продольного профиля на участках максимальной тяги и электродинамического торможения.

12 Перспективой дальнейшей разработки темы является определение параметров длинных неровностей и скорости их развития от уровня силовой нагруженности пути и характеристик грунтов основания.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

а) в рецензируемых научных изданиях:

1. Чечельницкий, А.И. Оценка состояния инфраструктуры и основные направления ее совершенствования / А.И. Чечельницкий // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 5. – С. 4-5.

2. Чечельницкий, А.И. Бесстыковой путь повышенной надежности / А.И. Чечельницкий, Н.П. Виногоров // Путь и путевое хозяйство. – 2020. – № 10. – С. 2-5.

3. Певзнер, В.О. Влияние длинных неровностей продольного профиля на безопасность движения в условиях интенсификации перевозочного процесса / В.О. Певзнер, А.И. Чечельницкий, К.В. Шапетько,

Е.А. Сидорова, А.Ю. Слостенин // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – № 5. – С. 271-275.

4. 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.

5. Чечельницкий, А.И. Технологии устранения профильных просадок / А.И. Чечельницкий // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 3. – С. 2-8.

6. Певзнер, В.О. Организация технического обслуживания пути на особогрузонапряженных линиях / 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;

7. Сидорова, Е.А. Показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям с учетом действия продольных сил / Е.А. Сидорова, В.О. Певзнер, А.И. Чечельницкий // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – № 6. – С. 359-365;

8. Чечельницкий, А.И. Диагностика инженерных сооружений и земляного полотна / А.И. Чечельницкий // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 4. – С. 4-6.

б) в других изданиях и материалах конференций:

1. Чечельницкий, А.И. Оценка и состояние инфраструктуры и основные направления развития / А.И. Чечельницкий // Труды конференции. Чтения, посвященные 115-летию профессора Г.М. Шахунянца. – 2021. – С. 11-17.

Чечельницкий Александр Иванович

**СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПУТИ ПРИ
НАЛИЧИИ ДЛИННЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ПРОДОЛЬНОГО
ПРОФИЛЯ НА УЧАСТКАХ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЯГИ И
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ**

2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог
(технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать __.01.2024

Формат 60x84 1/16

Заказ _____

Объём 1,0 усл. п.л.

Тираж __ экз.

127994, Россия, г. Москва. ул. Образцова, д.9, стр.9