

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
"Российский университет транспорта"
РУТ (МИИТ)

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

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Певзнер Виктор Ошеревич

МОСКВА - 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. История развития нормативов по оценке геометрических параметров рельсовой колеи на отечественных и зарубежных железных дорог.....	11
1.1 Выводы по главе.....	23
Глава 2. Обзор результатов исследований по причинам возникновения длинных неровностей и их влияния на показатели взаимодействие пути и подвижного состава.....	24
2.1 Причины возникновения длинных неровностей.....	24
2.2 Анализ теоретических работ по длинным неровностям.....	29
2.3 Характеристики длинных неровностей на сети.....	35
2.4 Выводы по главе.....	74
Глава 3. Эксперимент на опытном участке Обозерская – Малошуйка Северной железной дороги.....	76
3.2 Характеристика участка испытаний.....	76
3.2 Описание условий эксперимента и определяемых показателей.....	76
3.3 Результаты опытных поездок на участке Малошуйка – Обозерская.....	80
3.4 Выводы по главе.....	90
Глава 4. Расчет в программном комплексе «Универсальный механизм».....	92
4.1 Верификация расчета в программном комплексе «Универсальный механизм».....	92
4.2 Допустимые значения динамических качеств.....	94
4.3 Математическое моделирование длинных неровностей. Расчет показателей коэффициента динамики при наличии длинных неровностей.....	95
4.4 Расчет показателей коэффициента динамики при наличии сочетания длинных и коротких неровностей. Математическое моделирование сочетания длинных и коротких неровностей.....	98

4.5 Выводы по главе.....	105
Глава 5. Система технического обслуживания пути при наличии длинных неровностей продольного профиля на участках максимальной тяги и электродинамического торможения.....	106
5.1 Обзор применяемых технологий и инструментов	107
5.2 Современные технологии выправки длинных профильных неровностей.....	121
5.3 Система технического обслуживания пути при наличии сочетаний длинных и коротких профильных неровностей.....	125
5.4 Выводы по главе.....	126
Глава 6. Расчёт экономического эффекта при выборе оптимальной технологии устранения сочетаний длинных и коротких профильных неровностей.....	128
6.1 Анализ стоимости Вариант 1 и Вариант 2.....	134
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	136
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	145

ВВЕДЕНИЕ

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., Сулова 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 диссертации 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 корреспондируются 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.

Глава 1. История развития нормативов по оценке геометрических параметров рельсовой колеи на отечественных и зарубежных железных дорогах

Необходимость оценки натуральных неровностей пути на отечественных железных дорогах отражалась еще в нормативах 1959 года «Нормы оценки по показаниям путеизмерительных вагонов» [1]. Тогда же впервые была принята следующая дифференциация неисправностей пути по уровню: перекосы, резкие односторонние просадки, плавные отклонения по уровню.

К перекосам относились последовательные отклонения по уровню обеих рельсовых нитей в разные стороны при расстоянии менее 25 м между точками крайних отклонений. К резким односторонним просадкам относились отклонения по уровню в одну сторону при длине 10 м и менее. Просадки более 10 м относились к плавным отклонениям.

Ниже приведены параметры оценки перекосов (таблица 1.1), резких односторонних просадок (таблица 1.2) и плавных отклонений по уровню (таблица 1.3). Оценка состояния пути выполнялась с использованием штрафных баллов.

Таблица 1.1 – Оценка перекосов, согласно нормативам 1960 г.

Степень отступления	Размер отклонения, мм	Числовые значения балла при расстоянии в м между вершинами		
		1 – 7	8 – 14	15 – 24
I	От 1 до 6	0	0	0
II	>> 7 >> 10	30	15	10
III	>> 11 >> 15	300	150	100
IV	Более 15	2000	1500	1000

Таблица 1.2 – Оценка резких односторонних просадок.

Степень отступления	Размер отклонения, мм	Числовое значение балла	
		При длине отклонения 1- 5 м	При длине отклонения 6-10 м
I	От 1 до 6	0	0
II	>> 7 >> 10	10	5
III	>> 11 >> 15	100	50
IV	Более 15	1000	500

Таблица 1.3 – Оценка плавных отклонений рельсовых нитей по уровню.

Степень отступления	Размер отклонения, мм	Числовое значение балла
I	От 1 до 4	0
II	>> 5 >> 15	1
III	>> 16 >> 30	10
IV	>> 31 >> 50	100

В 1981 году были приняты новые Технические указания «Технические указания по расшифровке записей путеизмерительных вагонов, оценке отступлений от норм содержания рельсовой колеи железнодорожного пути, мерам по обеспечению безопасности движения поездов при их обозначении». (ТУ-81) [2], регламентирующие порядок расшифровки записей бумажных лент путеизмерителей и критерии балловой оценки отдельных отступлений.

В ТУ-81 нормировались следующие виды отступлений: ширина рельсовой колеи (шаблон), положению рельсовых нитей по уровню, просадки рельсовых нитей, положению рельсовых нитей по направлению в плане.

Отклонения по уровню разделялись на перекосы – резкие изменения положения рельсовых нитей по уровню в разные стороны при расстоянии между вершинами пик 20 м и менее, и плавные отклонения по уровню – при расстоянии между вершинами пик более 20 м.

Каждое отступление оценивалось в баллах, в том числе на ленте для каждого километра указывалась общая сумма баллов и качественная оценка километра.

В Инструкции ЦП-515 [3], утверждённой в 1997 году, предусматривался новый подход к оценке состояния пути, в том числе, вводился переход от ручной расшифровки записей лент путеизмерителей, к автоматической расшифровке данных с использованием системы БАС.

Качественная и балловая оценка километров нормировалась, согласно количеству отступлений соответствующих степеней по каждому контролируемому параметру, вследствие чего появилась возможность оценки интенсивности накопления расстройств пути, с прогнозом его состояния на перспективу.

В Инструкции [3] указывалось, что к перекосам пути относятся отклонения по уровню в разные стороны при расстоянии между вершинами отклонений, измеренном по нулевой линии на прямой, до 10 мм включительно на ленте (до 20 м на пути). При этом в перекося входят отклонения по уровню по 2,5 мм на ленте за его вершинами. Отклонения по уровню за указанными границами перекося оцениваются как плавные.

К просядкам рельсовых нитей, согласно Инструкции ЦП-515 «Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов» [3], относятся короткие просядки, измеряемые на базе тележки относительно кузова путеизмерительного вагона и изображаемые на ленте в виде смежных разносторонних отклонений линии записи от нулевой линии. Величина просядки определяется суммой амплитуд ее записи на ленте.

Скорости движения поездов устанавливаются согласно величинам степеней отступлений по всем контролируемым параметрам (табл. 1.4 – 1.5).

Таблица 1.4 – Величины степеней отступлений по уровню, перекосам и просадкам, согласно Инструкции ЦП-515

Установленная скорость движения поездов (числитель - пассажирские; знаменатель -грузовые), км/ч	Степень отступления	Величина отступления, мм		
		Уровень (*)	Перекос	Просадка
121-140/81-90	I	6	8	10
	II	16	12	15
	III	20	16	20
	IV	Более 20	Более 16	Более 20
61-120/61-80	I	8	10	10
	II	20	16	20
	III	25	20	25
	IV	Более 25	Более 20	Более 25
41-60	I	10	12	12
	II	25	20	25
	III	30	25	30
	IV	Более 30	Более 25	Более 30
16-40	I	12	14	15
	II	30	25	30
	III	35	30	35
	IV	Более 35	Более 30	Более 35
15 Закрывается движение поездов	I	15	16	18
	II	35	30	35
	III	50	50	45
	IV	Более 50	Более 50	Более 45

* Исключая участки, где отвод возвышения наружного рельса кривой устроен на прямой.

Таблица 1.5 – Величины степеней перекосов, согласно Инструкции ЦП-515

Установленная скорость движения грузовых поездов, км/ч	Степень отступления	Величина перекоса при расстоянии между вершинами пик, мм	
		до 10 м вкл.	Более 10 м до 20 м вкл.
81-90	I	8	8
	II	12	12
	III	16	16
	IV	Более 16	Более 16
61-80	I	8	10
	II	13	16
	III	16	20
	IV	Более 16	Более 20

Порядок выявления неровностей и оценки состояния геометрии рельсовой колеи вагонами-путеобследовательскими станциями ЦНИИ-4 нормировался Техническими указаниями ЦПТ-55/22. «Технические указания по определению и использованию характеристик устройства и состояния пути, получаемых вагонами-путеобследовательскими станциями системы ЦНИИ-4» [4], утвержденными в 2000 году.

В Технических указаниях [4] просадки рельсовых нитей оценивались как неровности в продольной плоскости от 2 до 6 м, определяемые датчиками по разности вертикальных перемещений ходовых колес относительно кузова.

Положение рельсовых нитей по уровню определялось по наклону кузова вагона к плоскости горизонта и двух датчиков вертикальных перемещений букс относительно кузова, определяющих наклон цилиндрической колесной пары относительно кузова вагона в поперечной плоскости.

К длинным перекосам относились неровности длиной до 30 м.

Как показывает анализ, оценка длинных неровностей (более 30 до 200 м) в нормативной документации не производилась. Это может быть объяснено

недостаточным развитием функционала бортового программного обеспечения путеизмерительных вагонов.

В настоящее время, необходимость учета длинных профильных неровностей при оценке состояния пути отражена в «Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов» утверждённой распоряжением 436/р [5]. Согласно указанного норматива, длинные неровности пути в профиле и плане возникают вследствие проведения работ по ремонту пути и деформаций основной площадки земляного полотна.

В инструкции определено что к перекосам относятся отклонения по уровню при расстоянии между вершинами отклонений до 20 м. Отклонения пути в плане оцениваются как разность смежных стрел изгиба рельсовых нитей от хорды длиной 20 м. Оценке подлежат отступления в плане при расстоянии между вершинами до 20 м (что соответствует длинам неровностей до 40 м).

Инструкцией [5] установлены следующие нормативы по оценке профильных отступлений (таблицы 1.6)

Таблица 1.6 – Степени отступлений по уровню, перекосам и просадкам.

Установленная скорость пассажирских/грузовых поездов, км/ч	Степень	Величина отклонения уровня, мм	Величина перекоса, мм	Величина просадки, мм
121-140	I	от 8 до 10	от 7 до 9	от 10 до 11
	II	до 16	до 12	до 15
	III	до 20	до 16	до 20
	IV	более		
61 - 120/61-90	I	от 9 до 12	от 9 до 10	от 10 до 12
	II	до 20	до 16	до 20
	III	до 25	до 20*	до 25
	IV	более		
41-60	I	от 11 до 14	от 11 до 14	от 11 до 14
	II	до 25	до 20	до 25
	III	до 30	до 25	до 30
	IV	более		
16-40	I	от 13 до 16	от 13 до 16	от 13 до 16
	II	до 30	до 25	до 30
	III	до 35	до 30	до 35
	IV	более		
15 Движение закрывается	III	от 35 до 50	от 35 до 50	от 35 до 45
	IV	более		
		50	50	45

* для грузовых поездов при величине перекоса более 18 мм и длине менее 10 м ограничивать скорость до 60 км/ч, с пометкой на ГД значком "гр"

На скоростных линиях, на участках с установленной скоростью более 140 км/ч дополнительно подлежат оценке отступления в плане длиной до 60 м.

В инструкции [5] в таблице 1.7 представлен порядок устранения длинных профильных неровностей пути. Указано, что длинные неровности продольного профиля определяются по всей длине пути, как отклонения от средней линии положения пути в продольном профиле. Длина интервала усреднения составляет 60 м.

Так же в инструкции [5] сказано, что такие неровности приводят к повышенным колебаниям вагонов, но не относятся к угрожающим безопасности движения поездов.

Таблица 1.7 – Нормативы длинных профильных неровностей.

Величина неровности, мм	Установленная скорость, км/ч	
	61-100	более 100
От 45 до 55 мм	-	выправка при плановом ППВ
От 56 до 70 мм	выправка при плановом ППВ	план устранения неровностей
Более 70 мм	план устранения неровностей	

Анализ критериев установления допускаемых скоростей движения подвижного состава с точки зрения показателей взаимодействия пути и подвижного состава показал, что согласно ранее действующим Нормам [7] вертикальные ускорения кузова грузового вагона должны составлять $0,2g$ (где $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения). Позднее, Нормами допускаемых скоростей движения 2240р [8] этот показатель был заменен на коэффициент вертикальной динамики второй ступени подвешивания грузового вагона, равный не более чем 0,2. В Инструкции [5] указано, что расчетное динамическое ускорение кузова, вызываемое за счет длинных неровностей в пути, не должно превышать $0,2 \text{ м/с}^2$.

Ускорения, вызванные длинными неровностями, оформляются в ведомость, представленную в таблице 1.8

Таблица 1.8 – Пример ведомости ускорений, вызываемых длинными неровностями.

Направление: 10101				Путь: 2		Проезды: 25.08.2018	
Участок: ...				ПЧ: 1,2		Км:144-257	
М	к	пз, км/ч	Макс величина, мм	Длина участка превышения порога, м	Дополнительное ускорение		Примечание
					В плане, м/с ²	В профиле, м/с ²	
145	117	120	27	23	0,16	-	ПД
146	191	120	28	18	-	-0,21	ТВ
...

Количественная и качественная оценка состояния километра пути, согласно инструкции [5], выполняется с использованием штрафных баллов, начисляемых за каждую неисправность, в зависимости от ее амплитудных характеристик. При выявлении длинных неровностей, превышающих установленные нормативы, начисляются дополнительные 50 баллов.

На Европейских железных дорогах существует дифференциация по нормативам неровностей в плане и профиле в соответствие с диапазоном длины волны «Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 2: Measuring systems - Track recording vehicles» [10]:

- D1: $3 \text{ м} < L \leq 25 \text{ м}$
- D2: $25 \text{ м} < L \leq 70 \text{ м}$
- D3: $70 \text{ м} < L \leq 150 (200) \text{ м}$

Диапазон длинных неровностей D3 применяется в большей степени для участков высокоскоростного движения.

При этом, состояние геометрии рельсовой колеи (в вертикальной плоскости) по тем же европейским нормативам предлагается оценивать по параметрам:

– величины отдельных неровностей, превышающих предельные пороговые значения;

– величины стандартных отклонений по заданной длине, обычно 200 м, в диапазоне длин волн D1 (для представления выходных данных допускается применять другие диапазоны длин волн, в частности, D2 и D3).

Для указанных отступлений определены 3 уровня качества:

1. Предельно допустимый (IAL) - относится к отступлениям, величина которых достигла критического значения, в связи с чем требуется немедленное принятие мер по устранению расстройств;

2. Немедленное реагирование (IL) - относится к отступлениям, величина которых близка к критической;

3. Плановое устранение (AL) относится к отступлениям, величина которых не достигла критической, но требует внимания при планировании ремонтно-путевых работ. В работе «Совершенствование нормативных документов по оценке состояния пути при скоростном движении» стр. 2-6.[11], профессор В.О. Певзнер указывал, что главное отличие отечественных нормативов от европейских состоит в том, что отечественные нормы сориентированы на результаты промеров относительно хорд различной длины (просадки, разность стрел изгиба в плане), а европейские помимо оценок при измерении от хорд характеризуют и сами неровности, полученные либо с помощью передаточных функций, либо двойным интегрированием ускорений на буксе (вертикальная плоскость), и уже с помощью этих данных формируются требования для различных измерительных систем, основанных на промерах от хорд различной длины.

В таблице 1.9 приведены сравнительные нормативы измерений неровностей пути в плане и профиле, по данным нормативных документов железных дорог ряда стран. Измерения неровностей в плане и профиле относительно хорд различной длины применяются также на железных дорогах США, Австралии и Индии.

Таблица 1.9 – Нормативы измерения неровностей в плане и профиле.

		Хорда измерения, м		Выходные данные
		Неровности в плане	Неровности в профиле	
EN 13848	D1: y, z: 3-25 м D2: y, z: 25-70 м D3: y: 70-200 м D3: y: 70-150 м			Пиковые значения, стандартные отклонения
EN 14363	D1: y, z: 3-25 м			Пиковые значения, стандартные отклонения
РЖД (Россия)		4,1+17,4 м	2,4+14,6 м	
DB RiL (Германия)		4+6 м	2,6+6 м	Пиковые значения, стандартные отклонения
SNCF (Франция)		5+5 м	Колесная база Mauzin 8	Пиковые значения, стандартные отклонения
Австралия		5+5 м	1,8+8,2 м 10+10 м	Пиковые значения
Индия		3,6+3,6 м	1,8+1,8 м	Пиковые значения
FRA (США)			31 ft MCO (4.7 + 4.7 м) 62 ft MCO (9,4 + 9,4 м) 124 ft MCO (18,9 + 18,9 м)	Пиковые значения

С учётом зарубежного опыта, в 2013 году АО ВНИИЖТ были разработаны так называемые "гармонизированные нормативы" (таблица 1.10),

Таблица 1.10 – Нормативы содержания пути на скоростных и высокоскоростных линиях в профиле

Скорость, км/ч	Гармонизированные			Европейские					
				EN			DB		
	Уровень								
	Планового устранения	Немедленного реагирования	Пределно допустимые	Планового устранения	Немедленного реагирования	Предельно допустимые	Планового устранения	Немедленного реагирования	Пределно допустимые
Длиной 3-25 м									
141-160	14-16	16-25	>25	15-17	17-23	>23	8-10	10-23	>23
161-200	12-14	14-20	>20	12-14	14-20	>20	7-9	9-20	>20
201-230	12-14	14-20	>20	12-14	14-20	>20	7-9	9-20	>20
231-250	10-12	12-16	>16	10-12	12-16	>16	6-8	8-16	>16
Длиной 25-70 м									
141-160	22-30	30-35	>35						
161-200	20-25	25-35	>35	20-23	23-33	>33	14-18	18-33	>33
231-250	20-25	25-35	>35	20-23	23-33	>33	14-18	18-23	>33
231-250	18-20	20-30	>30	18-20	20-28	>28	12-16	16-20	>28

но практического внедрения они не нашли из-за отсутствия необходимых средств диагностики для их обнаружения и техники для устранения таких неровностей.

1.1 Выводы по главе

В условиях роста объемов перевозок на отечественных железных дорогах, когда идёт постоянное развитие тяжеловесного движения, повышаются осевые нагрузки, вопрос по оценке влияния длинных неровностей в пути на интенсивность накопления расстройств и, как следствие, на безопасность перевозочного процесса требует отдельного рассмотрения не только для участков высокоскоростного движения, но и для всей сети дорог. И в первую очередь для участков обращения тяжеловесных и длинносоставных поездов.

Глава 2. Обзор результатов исследований по причинам возникновения длинных неровностей и их влияния на показатели взаимодействие пути и подвижного состава

2.1 Причины возникновения длинных неровностей

На сегодняшний день работа железнодорожных линий характеризуется устойчивым ростом грузонапряженности, а также длин и весов поездов.

По данным ОАО «РЖД», на сети наблюдается тенденция увеличения веса поезда за последние годы, даже при том что показатель «средний вес поезда» отражает среднее значение для всех поездов на сети, включая порожние и пассажирские составы (рисунок 2.1)

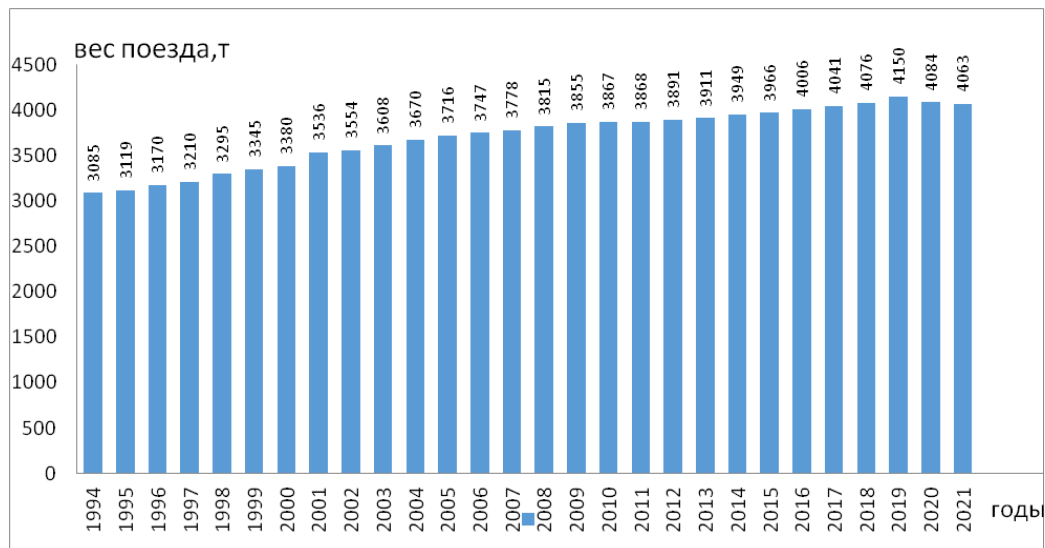


Рисунок 2.1 – Рост среднего веса поезда.

Увеличение осевых нагрузок вагонов и масс поездов изменило характер взаимодействия подвижного состава и пути.

Следствием повышенного воздействия на путь в вертикальной плоскости является рост вертикальных просадок рельсовых нитей, вызванный осадкой и деформацией не только балластного слоя, но и земляного полотна.

Если же говорить о нагрузке, передаваемой от грузового вагона на путь, то можно обратиться к данным, представленным на рисунке 2.2. Здесь отражено распределение осевой нагрузки груженых грузовых вагонов по дорогам за период с января 2020 по январь 2021 года. Из этой диаграммы видно, что максимальные значения осевой нагрузки грузовых вагонов на сегодняшний день практически лежат в области 25 тс на ось.

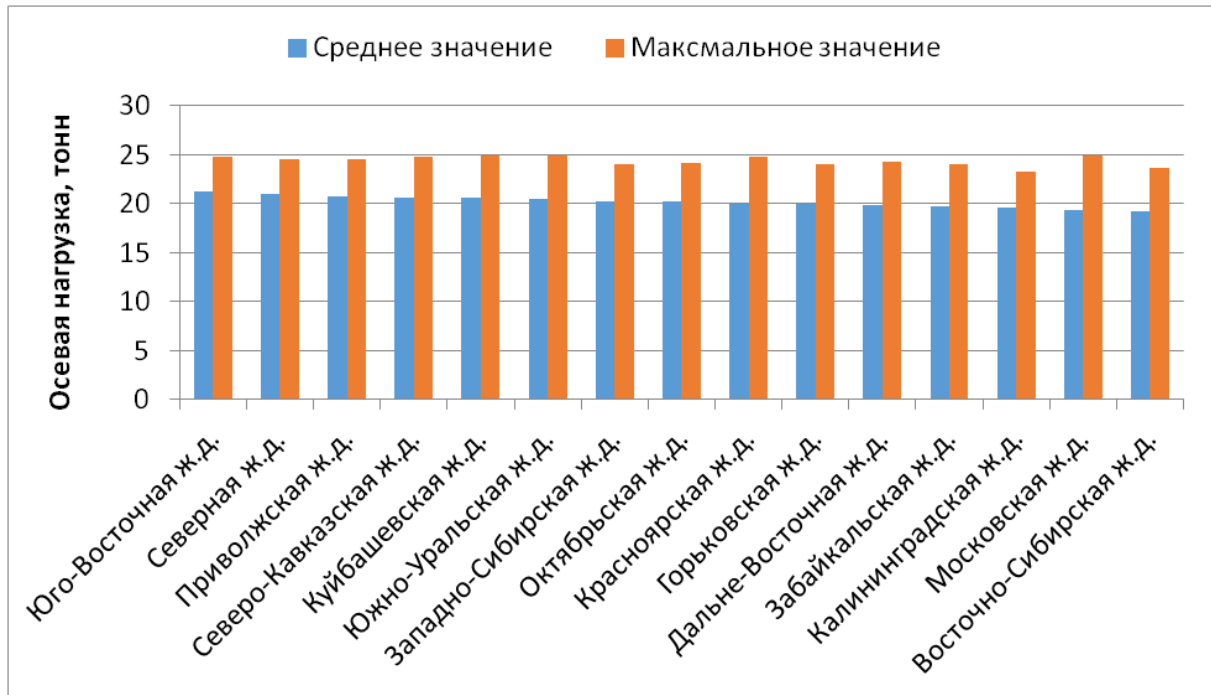


Рисунок 2.2 – Распределение осевой нагрузки груженых грузовых вагонов по дорогам за период с января 2020 по январь 2021 года.

Анализ результатов расчетов и экспериментов на участках обращения тяжеловесных поездов показал, что проблем с прочностью элементов ВСП при обращении тяжеловесных поездов, в том числе состоящих из вагонов с повышенными осевыми нагрузками не возникает. Есть проблема деформативности пути [18].

Если раньше при укладке в путь тяжелого типа верхнего строения, деформации, в основном, носили упругий характер, то с повышением осевых нагрузок до 25 тс в зону деформаций оказалось вовлеченным и земляное полотно.

Необходимо отметить, что еще в начале 30х годов прошлого века профессор Сергеев Б.Н. писал, что «в пути наряду с упругими, происходят деформации неупругие, остающиеся, которые, постепенно накапливаясь, могут достичь значительных размеров». (Сергеев Б.Н. Пересмотр действующих правил расчета пути. М. ОГИЗ – Гострансиздат. 1931. С.133-185). [13]. Как и все деформации, связанные с земляным полотном, эти расстройтва имеют достаточно большую протяженность.

Механизм появления и развития этих неровностей был разработан учеными и специалистами РФЯЦ (г. Саров). [14]

В работе «Возникновение остаточных деформаций земляного полотна и их влияние на безопасность движения». (Е.А. Сидорова, В.О. Певзнер, И.М. Анисина М. Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2021. № 5–6 С. 43–50) [14] приведена физико-математическая модель механизма образования деформаций земляного полотна, в частности, была объяснена динамика изменения геометрии пути во время и после прохождения подвижного состава с использованием реологических моделей грунтового основания (реологическая модель стандартного твердого тела).

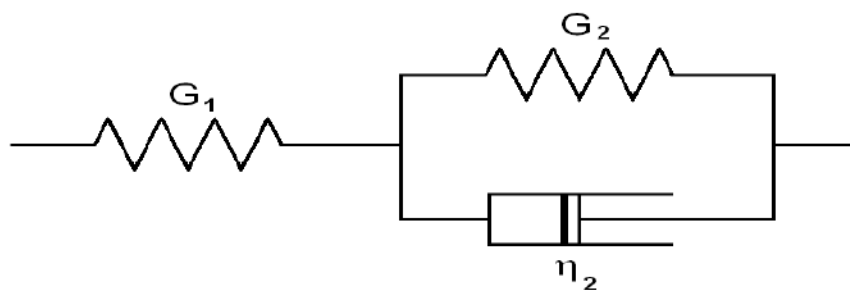


Рисунок 2.3 – Модель Кельвина -стандартного линейного твердого тела: G_1 и G_2 – упругие элементы, η_2 – вязкий элемент.

Эта модель описывается уравнением:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \tau_2 \varepsilon = \frac{G_1 + G_2}{G_1 \eta_2} \cdot \sigma + \frac{1}{G_1} \cdot \frac{d\sigma}{dt}. \quad (1)$$

В работе [15] указано, что прогиб грунта, обладающего вязкоупругими свойствами, при прохождении поезда можно описать функцией вида (2) и (3):

при $t \leq T$

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{G_2} (1 - \exp(-\tau_2 t)) \langle \sigma \rangle + \frac{\sigma_0}{G_1}, \quad (2)$$

при $t > T$

$$\varepsilon_{max}(t) = \varepsilon_T^0 \cdot \exp(-\tau_2(t - T)), \quad (3)$$

где:

$\sigma(t)$ – функция, задающая нагрузку на шпалу от времени;

ε – относительная деформация;

G_1 и G_2 – модули упругости в модели стандартного линейного твердого тела;

η_2 – вязкость;

τ_2 – время запаздывания, определяется по формуле (4):

$$\tau_2 = G_2 / \eta_2. \quad (4)$$

ε_T – остаточная деформация грунта, определяемая после прохода поезда, определяется по формуле (5):

$$\varepsilon_T = \frac{1}{\eta_2} \int_0^T \sigma(t') \exp(\tau_2 t') dt'. \quad (5)$$

T – время прохода поезда;

σ_0 – максимальное значение функции $\sigma(t)$ за время прохождения одного вагона;

$\langle \sigma \rangle$ – средняя по времени интегральная нагрузка на грунт при прохождении одного вагона, определяется по формуле (6):

$$\langle \sigma \rangle = \frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} \sigma(t') dt'. \quad (6)$$

Полученные формулы 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, позволили определить параметры упругих и вязких элементов реологической модели грунтового основания. Полученные значения попадают в экспериментально измеренный диапазон для глинистых грунтов и суглинков. Особенностью изученных процессов является развитие неровности непосредственно при прохождении поезда, когда максимальному влиянию подвергаются вагоны в конце состава. В случае движения группы поездов, когда интервал между поездами меньше времени релаксации пути [16], происходит накопление отступлений в вертикальной плоскости (для группы поездов), которое может достигать значительных величин. На временных интервалах, бóльших характерного времени релаксации, геометрия пути, в целом восстанавливается и образовавшаяся под тяжеловесным составом неровность обычными средствами не диагностируется.

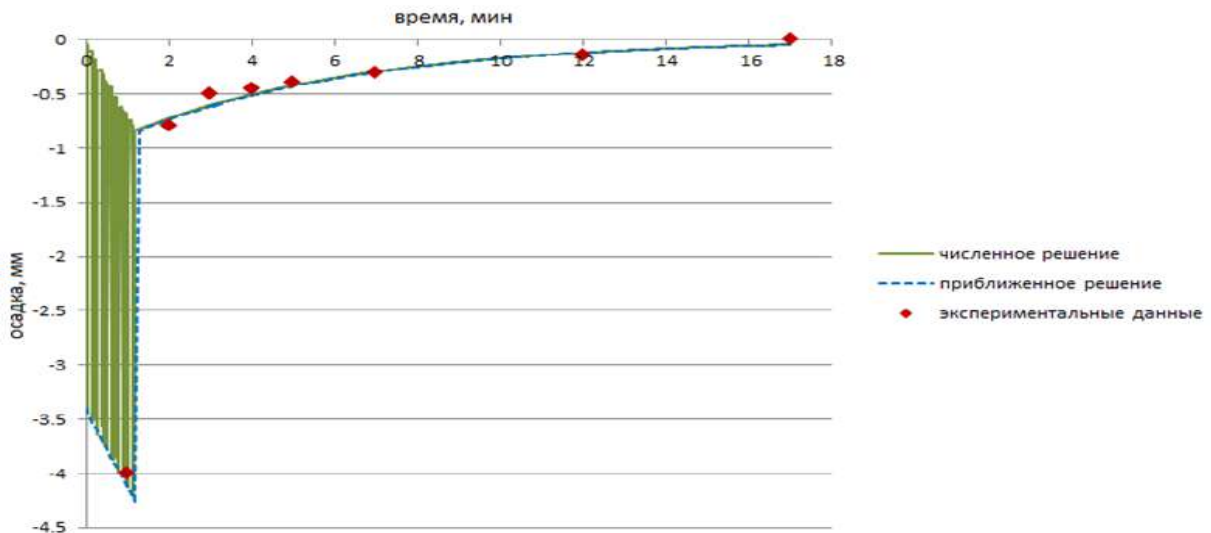


Рисунок 2.4 – Сравнение графиков просадки слоя грунта толщиной 400 см, полученных при численном решении уравнения стандартного линейного твердого тела (зеленая линия) и с использованием приближенного выражения для

деформации (синяя пунктирная) с экспериментальными данными (красные маркеры).

При временных интервалах между поездами меньших, чем период релаксации пути, образовавшиеся при проходе поезда отклонения геометрии пути не восстанавливаются и происходит процесс накопления деформаций (рисунок 2.5)

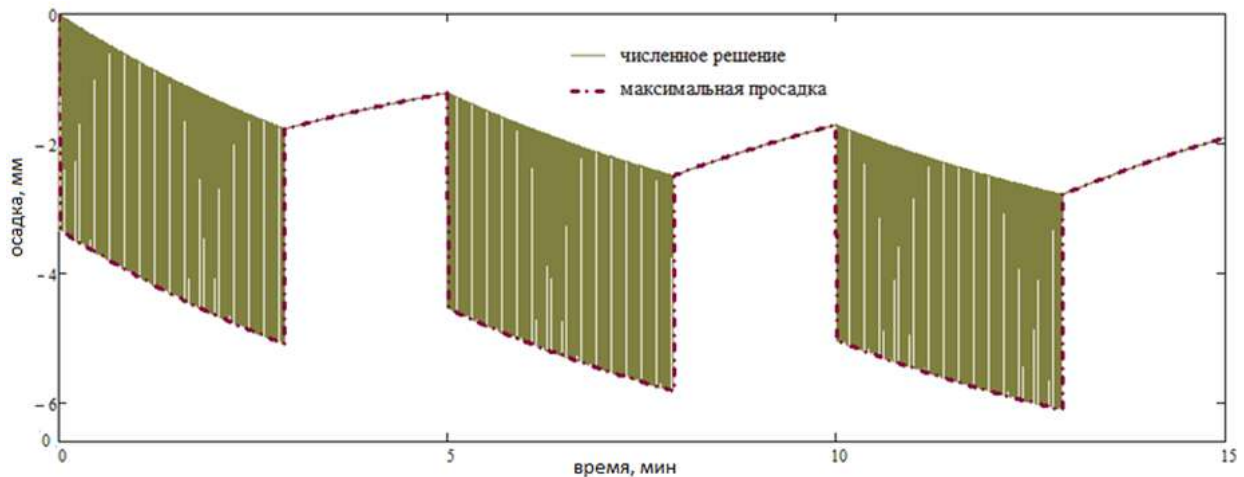


Рисунок 2.5 – График просадки грунта при прохождении трех поездов по 60 вагонов, интервал между поездами 5 минут, время прохождения одного поезда 2,9 минуты.

Проведенный анализ показал, что появление и развитие длинных неровностей продольного профиля является серьезным фактором, невнимание к которому может существенно отразиться на перевозочном процессе.

2.2 Анализ теоретических работ по длинным неровностям

При проведении анализа фактических параметров пути в продольном профиле на участках Московской, Северной, Октябрьской, Южно-Уральской, Дальневосточной, Забайкальской железных дорог отмечается наличие большого количества длинных неровностей протяженностью до 200 м. То же отмечается при проведении экспериментальных работ по тяжеловесному движению, специалистами АО «ВНИИЖТ». Поскольку в «Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи

путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов» [5] требования к таким неровностям практически отсутствуют, возникает необходимость в разработке методов определения параметров таких неровностей с помощью современной штатной измерительной техники и их влияния на показатели взаимодействия пути и подвижного состава.

Исследовательская база работ по изучению движения поезда с наличием тяги по переломам профиля формируется еще с начала двадцатого века с исследований Н.Е. Жуковского [20]. В своей работе он отмечал негативное влияние резкого изменения силы инерции при переходе локомотива через перевал, от конца старого участка к новому на раскачивание буферных пружин.

В дальнейшем математические модели движения поезда по переломам профиля развивались и анализировались учеными и практиками железнодорожной отрасли [21,22,23]. То, что силы в автосцепках достигают своих наибольших значений на вершине профильной неровности, отмечалось в работе С.В. Вершинского, В.Н. Данилова, В.Д. Хусидова [24]. Возрастание масс поездов и, соответственно, продольных сил, необходимых для их вождения, потребовало вновь вернуться к анализу процессов, происходящих при движении тяжеловесных поездов по пути с длинными неровностями.

Рассмотрение влияния длинных неровностей на деформативность пути и безопасность движения поездов проводилось в работе кандидата технических наук Шапетько К.В.. Для этого в исследовательских целях был практически реализован известный в общем виде способ получения и использования параметров таких неровностей с помощью расчётов в частотной области с использованием информации получаемой измерительными системами путеизмерительных вагонов на основе методов преобразования Фурье [17,18,19].

Были проведены теоретические расчеты по определению показателей взаимодействия подвижного состава и пути при движении по пути с такими неровностями.

При решении задачи по оценке влияния продольных сил на показатели взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям, была построена модель поезда, содержащая одну подсистему из одномассовых моделей двух локомотивов и 64 вагонов и вторую подсистему из пяти многомассовых моделей вагонов, соединенных между собой моделями автосцепок [9].

Исходные данные процесса моделирования включали: скорость поезда 60-65 км/час, тягу локомотива 50 тс (490,5 кН), конфигурацию плана и профиля участка пути (две кривые радиусом более 1000 м, участок постоянного уклона – 9‰), геометрия вертикальных и горизонтальных неровностей пути. Вертикальные и горизонтальные неровности плана и профиля были получены по данным датчиков вагона-путьеизмерителя на основе метода преобразования Фурье [25] разработанным во ВНИИЖТе способом. Масса поезда составляла примерно 6500 т.

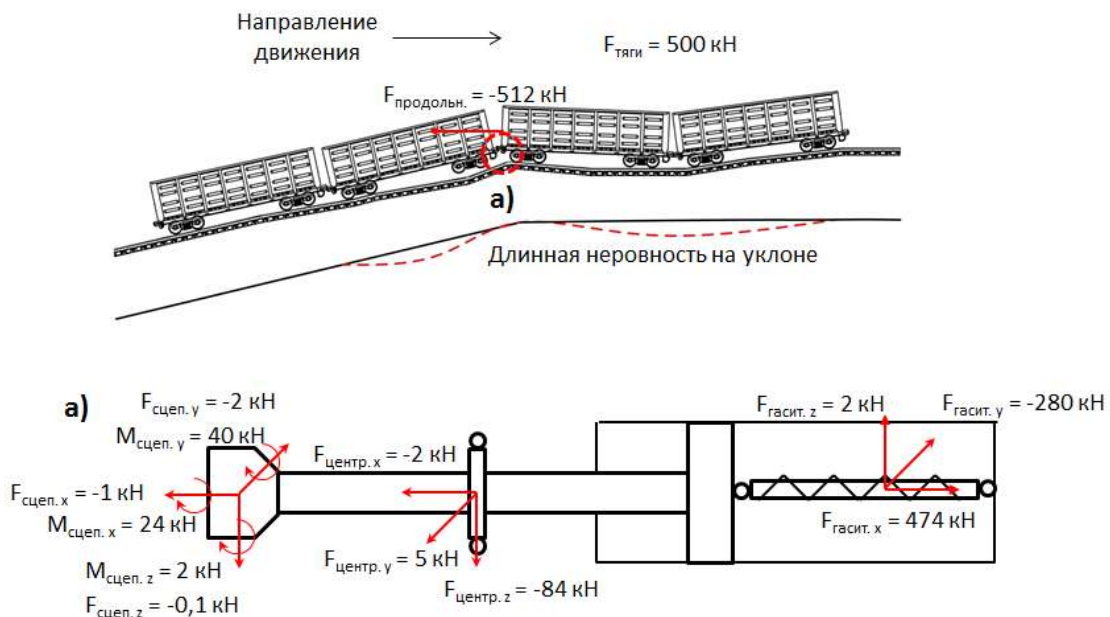


Рисунок 2.6 – Силы в автосцепке между вагонами, проходящими вершину длинной неровности.

На рисунке 2.6 представлена схема сил, возникающих в автосцепке между вагонами, в середине состава проходящими вершину между двумя длинными неровностями, когда на них действуют разнонаправленные продольные силы – сила тяги с головы, и сила от второй половины поезда на уклоне. Значения сил были получены при расчете в программном комплексе «УМ» движения поезда по длинной неровности, находящейся на уклоне, зарегистрированным в месте схода вагонов на Московской железной дороге (рисунок 2.7).

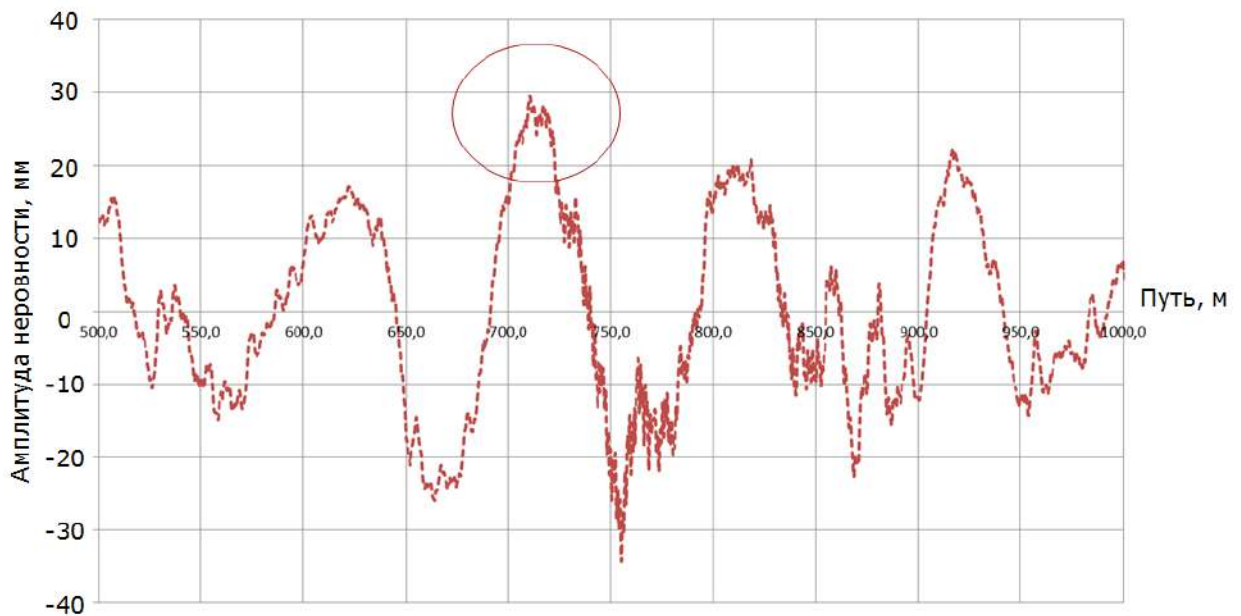


Рисунок 2.7 – Вершина длинной неровности на Московской железной дороге.

Проведенные расчеты дали общее представление о работе гасителей и центрирующего устройства автосцепки на вершине длинных неровностей при движении поезда в режиме тяги. Кроме того, расчеты позволили установить величины продольных сил в автосцепках между вагонами в середине состава. В данном случае величина продольной силы в автосцепке в середине состава составила приблизительно 500 кН.

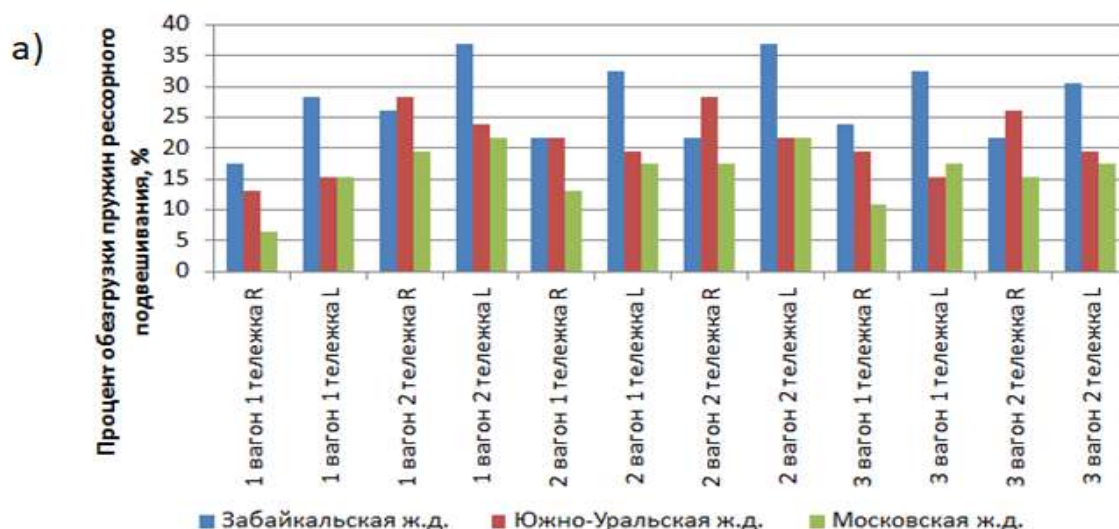
Для оценки показателей взаимодействия пути и подвижного состава в вертикальной плоскости, были проведены расчеты для грузовых вагонов в составе

поезда, двигающегося в режиме тяги по длинным неровностям в местах сходов на Московской, Забайкальской и Южно-Уральской железных дорогах [26].

Из рисунка 2.8 видно, что максимальные значения процента обезгруживания пружин рессорного подвешивания груженых вагонов лежат в диапазоне от 22% до 37% на разных участках, при этом рассчитанные средние значения процентов обезгрузки лежат в интервале от 16% до 28 %, что тоже является значительной величиной, особенно для гружёных вагонов.

Уточнение возможности обезгруживания пружин рессорного подвешивания вагонов позволяет рассмотреть полученные минимальные величины вертикальных сил, зарегистрированных на участках с длинными неровностями. Физический смысл уменьшения значений вертикальных сил свидетельствует даже о возможности отрыва колеса от рельса. Такая ситуация была получена расчетом движения грузовых вагонов с наличием тяги по неровностям Забайкальской железной дороги. Здесь минимальные значения вертикальных сил достигали 3 кН. Полученные значения сил являются одномоментным следствием прохода межвагонного соединения (двух автосцепок) по вершине длинной неровности.

В целом минимальные значения вертикальных сил по всем рассмотренным участкам с наличием длинных неровностей лежат в диапазоне от 3 до 76 кН, а если рассчитать средние значения, то они попадают в интервал от 27 до 91 кН



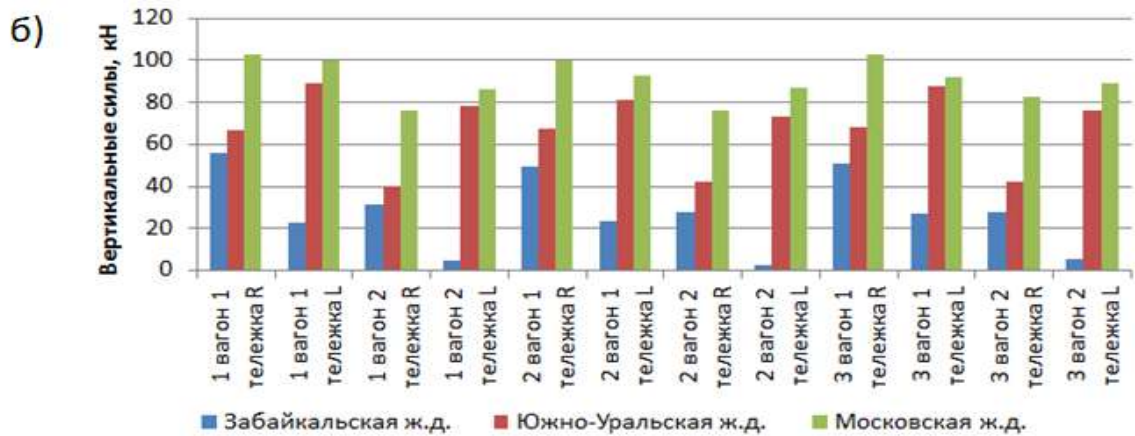


Рисунок 2.8 – Оценка возможности частичной обезгрузки тележки грузового вагона: а) по критерию удлинения пружин рессорного подвешивания; б) по критерию минимальных вертикальных сил, передающихся от колеса на рельс.

Таким образом, был сделан предварительный вывод о возможности частичного обезгруживания тележки груженого вагона находящегося в составе поезда, идущего по длинным неровностям в режиме тяги. Обезгруживание вагона потенциально может приводить к двум процессам: возможности вкатывания колеса на головку рельса и отрыва колеса с последующим ударом и разрушением рельса, особенно в зоне стыков.

С точки зрения оценки показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава, значения коэффициента динамики грузового вагона, полученные при моделировании движения вагона по длинным неровностям, демонстрируют приближение к критическим значениям. Так, наибольшее значение коэффициента динамики составляет - 0,7, что для груженого вагона является предельным значением (рисунок 2.9).

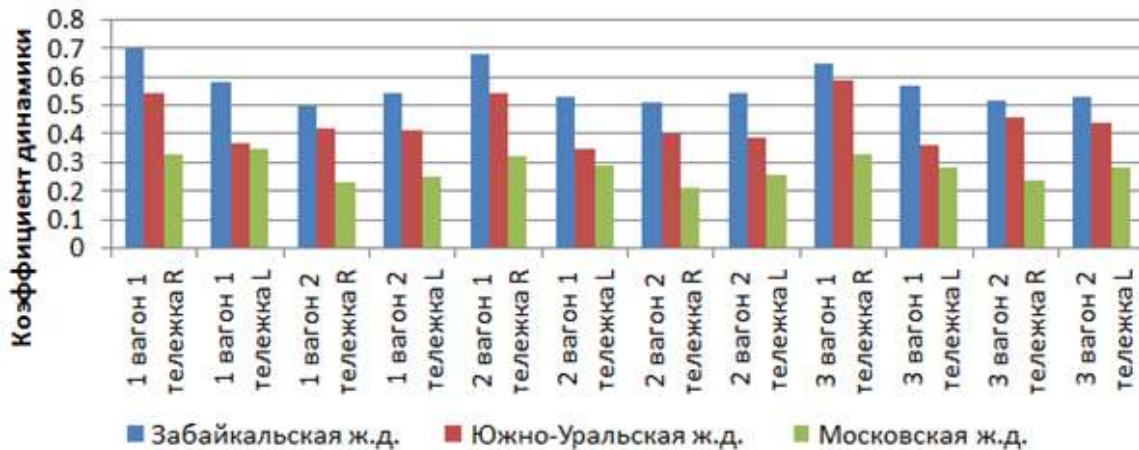


Рисунок 2.9 – Оценка возможности схода колеса с рельса по коэффициентам динамики

Основная проблема заключается в том, что расчетные показатели были получены на модели без ее верификации.

2.3 Характеристики длинных неровностей на сети

В данной главе представлены результаты анализа данных проходов вагонов - путеизмерителей 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. Дополнительно приведены результаты анализа данных путевых измерений на участках со сложным профилем (с уклонами до 15,8‰). Также представлены полученные результаты по оценке связи между существующими нормативами по оценке состояния геометрии рельсовой колеи и натурными параметрами длинных неровностей, рассчитанными с использованием преобразования Фурье. Представлены выводы о наличии на участках с длинными неровностями сочетаний длинных и коротких профильных неровностей с определением их основных параметров и закономерностей.

Математический аппарат обработки данных проходов мобильных средств диагностики

Обработка результатов проверки пути вагонами - путеизмерителями на опытных участках проводилась по методике АО «ВНИИЖТ», утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 03.10.2019 № 2191/р. [26]

Для обработки данных вагонов - путеизмерителей с дальнейшим получением параметров натуральных неровностей использовался алгоритм, разработанный АО «ВНИИЖТ», в основу которого заложено применение быстрого преобразования Фурье (БПФ), которое позволяет сократить количество вычислительных операций с комплексными числами, и как следствие, ускорить работу алгоритма получения параметров неровностей по данным путеизмерительных вагонов.

Как описано в работе А. Лукина [30] преобразование Фурье позволяет получить соответствие сигналу, заданному во временной области, его идентичное представление в частотной области. В обратном порядке так же, если известна частотная характеристика сигнала, то обратное преобразование Фурье позволяет определить соответствующий сигнал во временной области [29].

Для получения параметров неровностей по данным проходов вагонов-путеизмерителей (просадок) используется БПФ (*fft*) и передаточная функция $F(x)$.

В путеизмерительном вагоне геометрия пути регистрируется хордальной измерительной системой. Измеренные сигналы положения пути в профиле необходимо подвергнуть корректировке передаточными функциями с последующей аппроксимацией для выравнивания сигнала. Процесс восстановления «натурной» формы этих сигналов называется «преобразование».

Так, для массива данных с длиной N прямое (1) и обратное (2) дискретное преобразование реализуется следующим образом:

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j)e^{-2\pi i \frac{(j-1)(k-1)}{N}}, \quad (1)$$

где $1 \leq k \leq N$.

$$x(j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X(k) e^{2\pi i \frac{(j-1)(k-1)}{N}}, \quad (2)$$

где $1 \leq j \leq N$.

На первом этапе применяется преобразование Фурье (1), которое позволяет привести исходный массив данных из временной области в частотную, чтобы избежать искажения используемых данных [30].

На втором этапе происходит применение передаточной функции $F(x)$ к преобразованным данным. Передаточная функция является функцией отклика линейной системы на входящий сигнал – профиль пути, или по-другому ядром свёртки в задачах фильтрации, либо восстановления сигнала. В данном случае линейной системой является хордальная система измерения, которая используется вагонами-путеизмерителями, хотя при этом вагон-путеизмеритель является фильтром, искажающим входящий сигнал – профиль пути, а значит, для получения неискажённого профиля пути необходимо произвести восстановление сигнала, воспринятого хордальной системой вагона. Фильтрация сигнала производится путём свёртки сигнала и ядра свёртки. Если перевести сигнал и ядро свёртки (передаточную функцию) в частотную область, то интеграл свёртки упрощается, производится перемножение двух функций в частотной области по формуле (3):

$$y(n) = X(k) \cdot h(k), \quad (3)$$

где $X(k)$ – входящий сигнал в частотной области;

$h(k)$ – ядро свёртки в частотной области.

Для выполнения деконволюции (восстановления) сигнала нужно произвести обратные действия, осуществляемые в задаче фильтрации, а именно разделить переведённые в частотную область сигнал с вагона на вычисленную передаточную функцию по формуле (4):

$$y(n) = \frac{X(k)}{h(k)}, \quad (4)$$

где $X(k)$ – входящий сигнал в частотной области;

$h(k)$ – ядро свёртки в частотной области.

На выходе получаем массив, представляющий данные геометрии рельсовой колеи в частотной области. Для окончательного результата необходимо прибегнуть к обратному преобразованию Фурье (*ifft*) (2), которое позволит получить исходный результат – профиль пути в вертикальной плоскости [31].

Рассматривая полученные данные в спектральной области, можно дополнительно анализировать общее состояние пути на данном участке. Чтобы проанализировать более детально состояние пути, необходимо выявить параметры неровностей пути из полученного профиля. Для этого понадобится аппроксимировать полученную кривую (профиль) с использованием параметрической модели Фурье $f(x)$.

Проведенные исследования показали, что данные полученные с помощью преобразования данных полученных измерительными системами диагностического вагона хорошо коррелируются с данными, которые получены натурным геодезическим способом (рисунок 2.10)

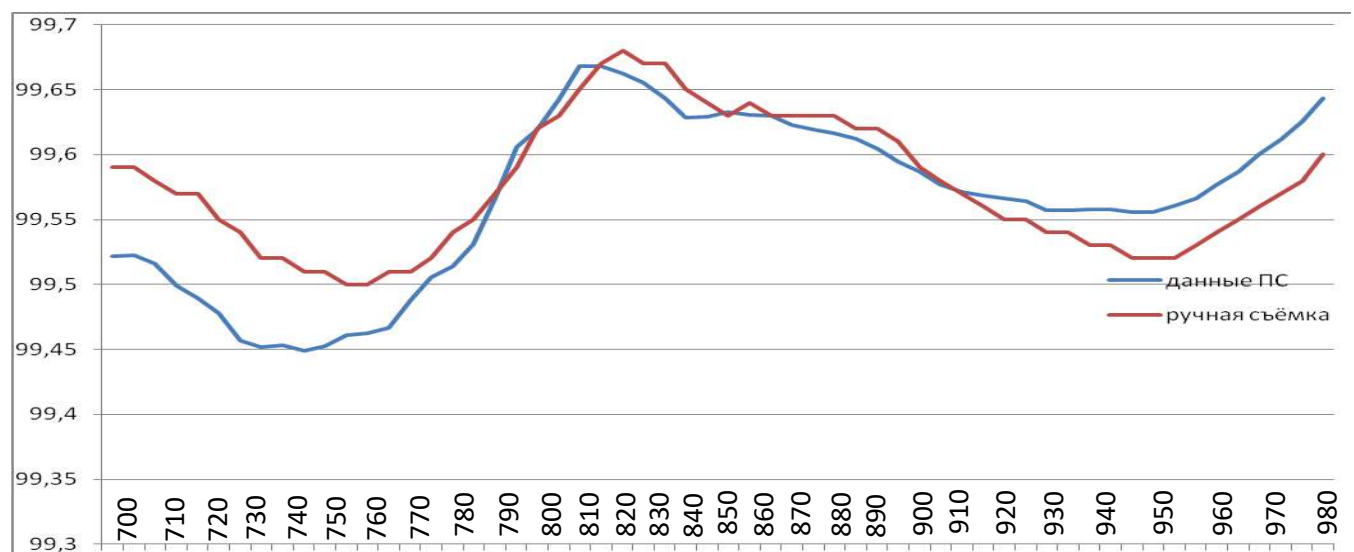


Рисунок 2.10 – Сопоставление данных натуральных промеров и преобразованных данных ПЧ-8 Московской железной дороги.

Анализ данных проходов вагонов-путеизмерителей проводился на участках

Горьковской, Северной, Октябрьской, Московской, Свердловской, Дальневосточной железных дорог, а также на участках сходов (Московская, Забайкальская и Южно-Уральская и Дальневосточная железные дороги). Дополнительно проведен анализ данных проходов диагностических средств на участках со сложным профилем (с уклонами до 15,8‰). Характеристики опытных участков приведены в таблицах 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики опытных участков для анализа данных проходов мобильных средств диагностики с целью получения параметров длинных неровностей

№ п/п	Дистанция пути	Участок	Путь	Км начало-Км конец	Грузонапряженность	Тип ВСП	Пропущенный тоннаж, млн.т.	Радиусы кривых, м	Уклоны
Горьковская железная дорога									
1.	ПЧ-10	Киров - Ардаши	Неч.	956-1030	140,6	Р65, БП,Ж/Б, Щ	70-2038	331-2230	-10 - 10
2.	ПЧ-13	Ардаши - Чепца	Неч.	1031-1221	140,6	Р65, БП,Ж/Б, Щ	67-2265	500 - 2300	-10 - 10
3.	ИЧ-3	Киров - Сольвычегодск	Неч.	3-326	2-28	Р65, БП,Ж/Б, Щ	7-1244	550-2200	-11 -12
Северная железная дорога									
5.	ПЧ-22	Малошуйка - Обозерская	Одн.	185-352	57,7	Р65, БП,Ж/Б, Щ	132-591,1	600-2000	-18 - 13
Октябрьская железная дорога									
6.	ПЧ-10,7,3,1	Санкт-Петербург – Москва	Неч.	1-645	14,7-24,7	Р65, БП,Ж/Б, Щ	22,7-652,3	600-4000	-3-12
7.	ПЧ-10,7,3,1	Москва - Санкт-Петербург	Четн.	645-1	14-24,8	Р65, БП,Ж/Б, Щ	18,0-673,0	600-4000	-12-3
8.	ПЧ-17,18	С-Петербург - Выборг	Неч.	1-130	17,8-36,8	Р65, БП,Ж/Б, Щ	7,8-881	600-3000	-10-6
9.	ПЧ-17,18	С-Петербург - Выборг	Четн.	1-130	10,1	Р65, БП,Ж/Б, Щ	112-626,9	600-3000	-6-10
Московская железная дорога									
10.	ПЧ-32	Сандарово – Яганово	Неч.	283-345		Р65, БП,Ж/Б, Щ		350-4000	-6-6
Свердловская железная дорога									
11.	ПЧ-1	Чепца - Удалы	Неч.	1222-1387	139,92	Р65, БП,Ж/Б, Щ	11,66-1152,63	500-2500	-9-12
Дальневосточная железная дорога									
12.	ПЧ-13	Надежинская - Кипарисово	Четный	9226-9243	114,1	Р65, БП,Ж/Б, Щ		360-670	-7,8-10,3

По полученным данным с мобильных диагностических средств и ручных промеров определялись параметры длинных неровностей в профиле:

амплитуда, длина, алгебраическая разность уклона профиля (максимальный угол в точке перелома профиля).

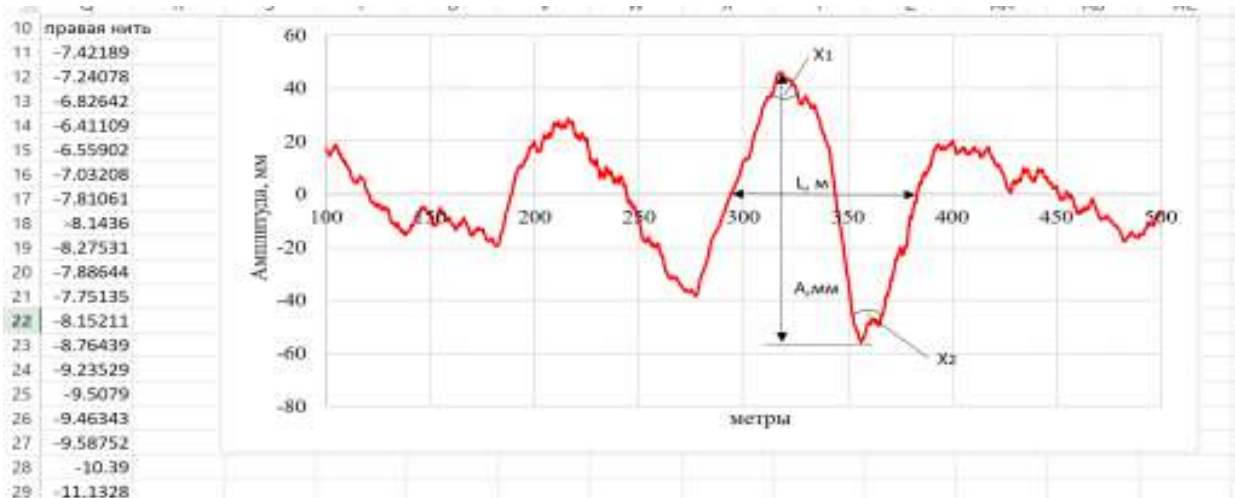


Рисунок 2.11 – Отображение неровностей вертикальной плоскости с определением основных параметров, где: A – амплитуда неровности, L – длина неровности, X_1 , X_2 – углы вершины неровности, %

Анализ нормативной документации показал, что рекомендуемая разность смежных уклонов составляла для приемоотправочных путей длиной 1050 м на линиях I категории и особогрузонапряженных линиях:

– по СНиП II-Д.1-62 «Железные дороги колеи 1524 мм общей сети. Нормы проектирования» – 5‰ (допускаемая норма – 8‰) [32];

– по СНиП II-39-76 «Железные дороги колеи 1520 мм» – 6‰ (допускаемая норма – 12‰) [33];

– по СТН Ц-01-95 «Железные дороги колеи 1520 мм» и СП 237.1326000.2015 «Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования» – 4‰ (допускаемая норма – 10‰) [34].

Если рассматривать образовавшуюся неровность как «случайный горб», то

разность уклонов согласно ЦП-2288 «Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути» [8] техническому обслуживанию на расстоянии 5 м от вершины не должна превышать – 4‰, а на участках более 5 м – 5‰.

Таким образом, полученные данные по параметрам длинных неровностей в профиле, а также величины алгебраической разности уклонов профиля на разных дорогах необходимы для оценки степени влияния этих показателей на динамику подвижного состава и безопасность движения в различных условиях эксплуатации.

Анализ данных проходов вагонов-путеизмерителей на опытных участках Горьковской железной дороги

В качестве опытных участков были отобраны километры на 1 пути направлений Киров-Ардаши, Ардаши-Чепца и Киров-Сольвычегодск. Анализ параметров длинных неровностей в профиле проводился по данным проходов вагонов-путеизмерителей в 2020 году.

Так, на 1032 км 2 пути направления Ардаши-Чепца, были выявлены длинные неровности в профиле с максимальной амплитудой 43 мм и длиной 97 м (рисунок 2.12). На участке также можно выделить 4 последовательно расположенные длинные неровности на 1-5 пикетах (выделены красным цветом).



Рисунок 2.12 – Неровности в профиле на 1032 км направления Ардаши-Чепца,

2 путь, февраль 2020 г.

Характеристики длинных профильных неровностей на опытных участках находятся в диапазонах значений представленных в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Статистические характеристики длинных неровностей в профиле на опытных участках Горьковской железной дороги.

	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона профиля, ‰
	min	max	средняя	min	max	средняя	max
профиль	36	81	55	57	108	90	4,9

Таким образом, по результатам обработки данных проходов путеизмерительных вагонов на опытных участках Горьковской железной дороги были определены основные параметры длинных неровностей в профиле для использования в дальнейших расчетах.

Анализ данных проходов путеизмерительных вагонов на опытных участках Северной железной дороги

В качестве опытных участков были отобраны километры на направлении Беломорск-Обозерская (Малошуйская дистанция пути). Анализ параметров длинных неровностей в профиле проводился по данным проходов вагонов-путеизмерителей в 2020 и 2021 гг.

На диаграммах (рис.2.13-2.15) приведены примеры неровностей в профиле, полученные на участках с максимальными параметрами выявленных неровностей.

Так, на 242 км однопутного участка Беломорск-Обозерская, были выявлены длинные неровности в профиле с максимальной амплитудой - 134 мм и длиной - 100 м и амплитудой - 121 мм и длиной - 80 м (рисунок 2.13, 2-3 пикет и 6-7 пикет –

участок с мостом).

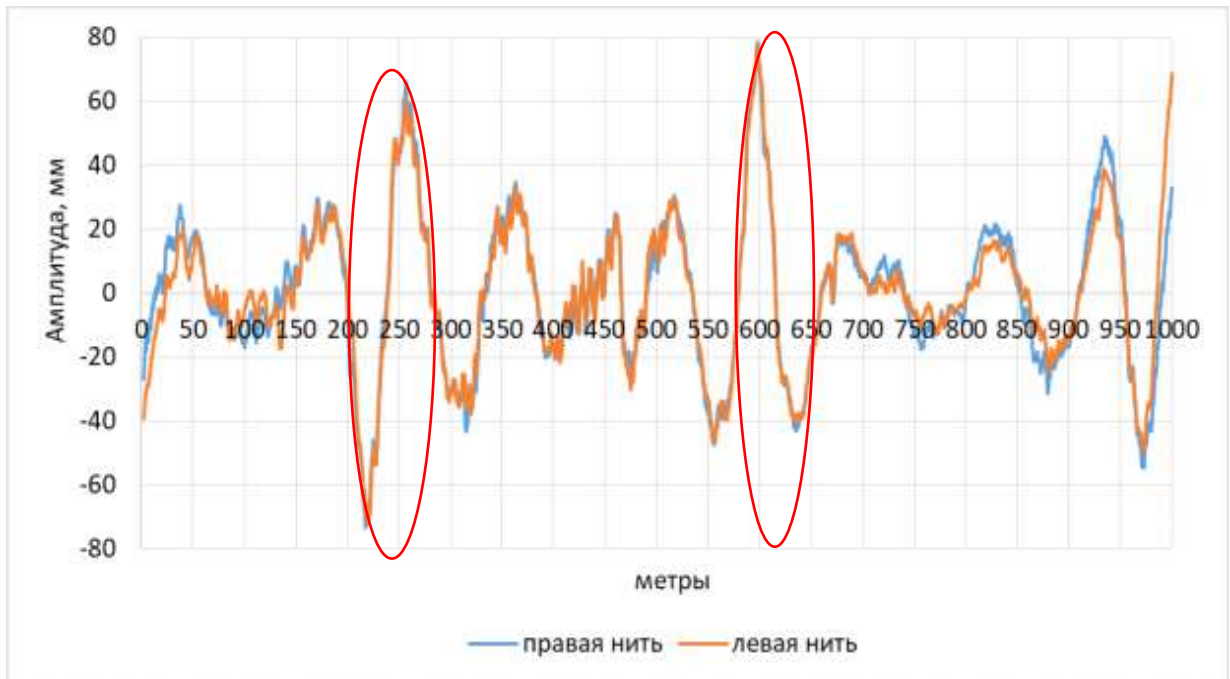


Рисунок 2.13 – Неровности в профиле на 242 км направления Беломорск-Обозерская, октябрь 2021 год

На 286 км были выявлены длинные неровности в профиле с максимальной амплитудой до 73 мм и длиной до 88 м (рисунок 2.14).

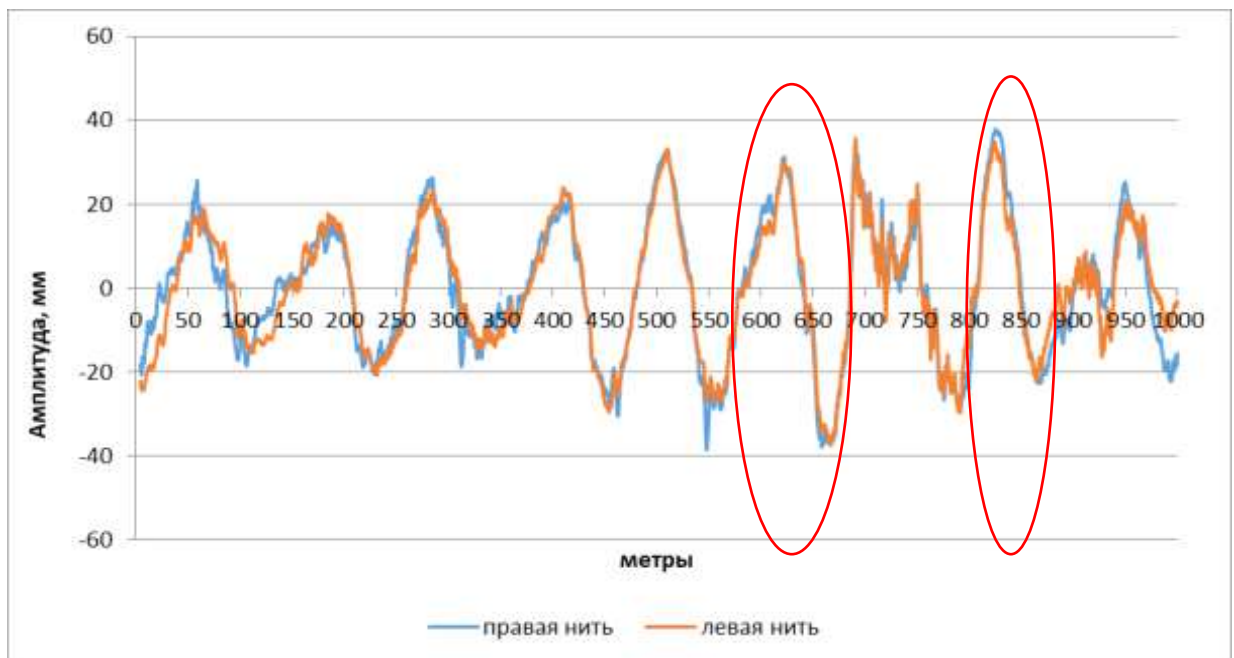


Рисунок 2.14 – Неровности в профиле на 286 км направления Беломорск-

Обозерская, октябрь 2021 год.

На 271 км были выявлены последовательно расположенные длинные неровности в профиле на протяжении 250 м с максимальной амплитудой до 104 мм и длиной до 88 м (рисунок 2.15).

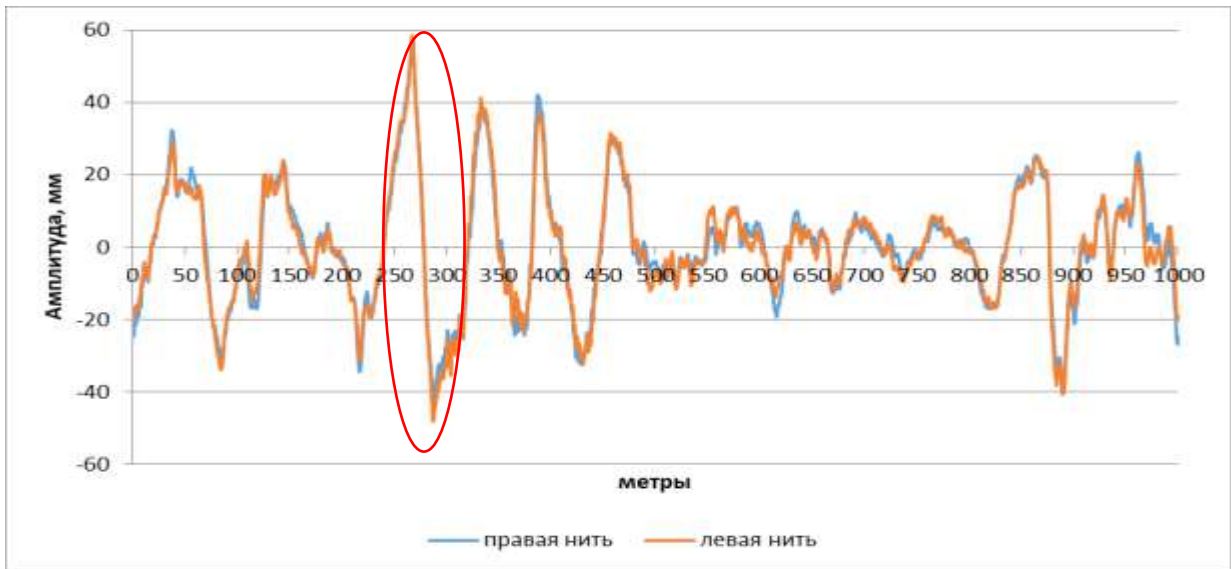


Рисунок 2.15 – Неровности в профиле на 271 км направления Беломорск-Обозерская, октябрь 2021 год.

На основе обобщённых результатов проведенных исследований на участке Беломорск-Обозерская была сформирована группа из 100 точек, характеризующих параметры выявленных длинных неровностей в профиле.

Для полученного массива данных рассчитались основные статистические характеристики выборки. Результаты расчетов приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Статистические характеристики длинных неровностей в профиле на Малошуйской дистанции пути Северной железной дороги.

Участок	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона профиля, ‰
	min	max	средняя	min	max	средняя	max
Обозерская-Малошуйка	22	125	60	50	115	90	8,1

Таким образом, по результатам обработки данных проходов вагонов-путеизмерителей на опытных участках Северной железной дороги были определены основные параметры длинных неровностей в профиле для использования в дальнейших расчетах.

С учетом вышеизложенного можно констатировать, что по основным параметрам контролируемым вагонами-путеизмерителями (сужение, уширение, уровень, перекося, просадка, рихтовка) более 90% километров в границах Малошуйской дистанции пути содержится в «хорошем» и «отличном» состоянии, а наибольшее количество выявленных отступлений – это перекося, просадки и рихтовка, что указывает на необходимость более детального изучения влияния неровностей в профиле на показатели взаимодействия пути и подвижного состава.

Анализ данных проходов путеизмерительных вагонов на опытных участках Октябрьской железной дороги

Анализ данных о состоянии пути и параметрах длинных неровностей в профиле на участках Октябрьской железной дороги проводился на участках направления Санкт-Петербург-Москва по данным проходов вагонов-путеизмерителей в 2022 году.

На рассматриваемых участках были определены натурные неровности в профиле с различными амплитудами: от 5 до 55 мм и длиной от 30 м.

Примеры выявленных неровностей в профиле представлены на рисунках 2.16-2.17.

Анализ диаграмм на рисунке 2.16 показал, что на опытных участках в местах расположения стрелочных переводов имеются натурные неровности в профиле амплитудой более 50 мм и длиной более 100 м (232 км пк 8-9).

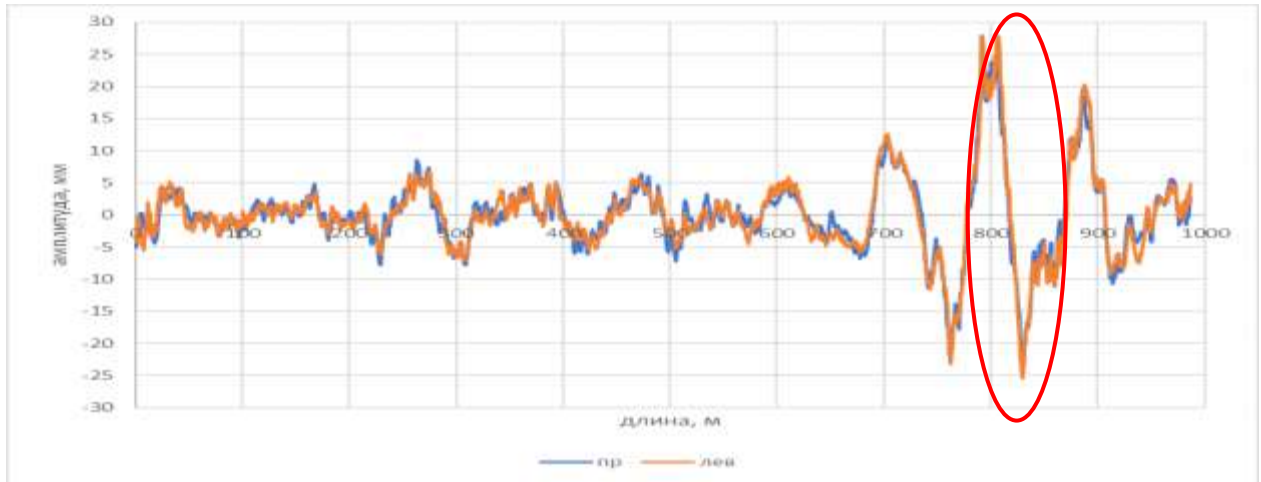


Рисунок 2.16 – Неровности в профиле. 232 км 1 путь (участок со стрелочным переводом)

В то же время, на некоторых участках выявлены натурные неровности с небольшой амплитудой, но имеющие большие длины.

Пример таких неровностей в профиле представлен на рисунке 2.17.

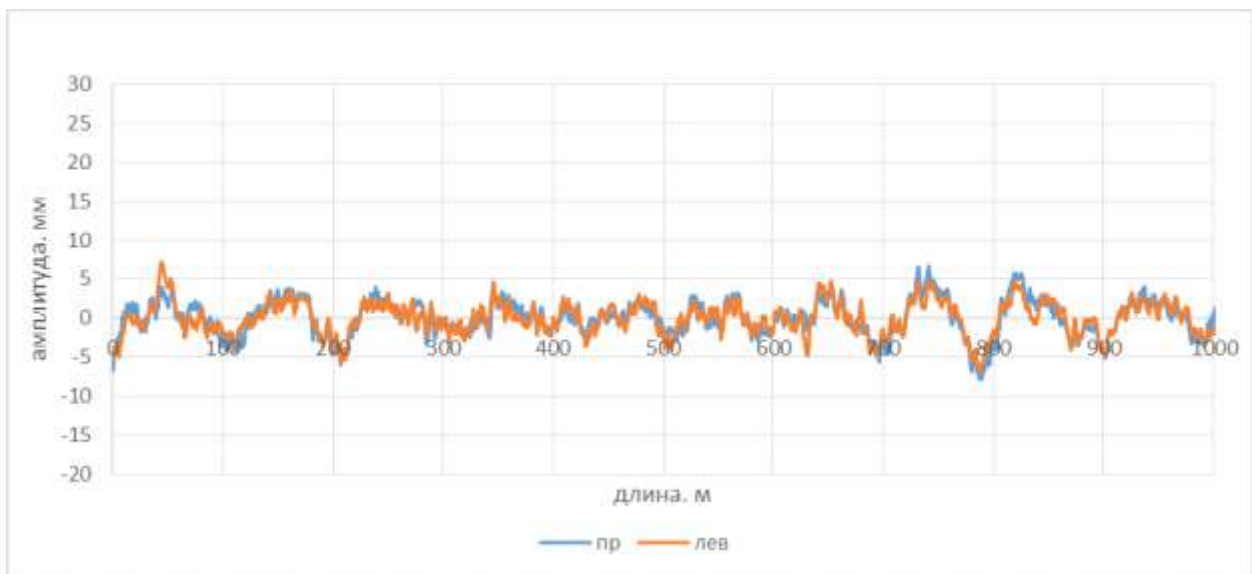


Рисунок 2.17 – Неровности в профиле 445 км 2 путь.

В результате проведенных исследований установлено, что наибольшая длина неровности в профиле по рассматриваемым километрам составила 117 м.

Обобщённые результаты исследования в 176 точках, характеризующих параметры длинных неровностей на опытных участках, определили, что

характеристики неровностей находятся в следующих диапазонах значений

Таблица 2.4 – Статистические характеристики длинных неровностей в профиле на опытных участках Октябрьской железной дороги.

Участок	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность профиля, ‰
	min	max	средняя	min	max	ср	max
Санкт-Петербург-Москва	5	55	18,5	30	120	64	6,4

Проведенным анализом установлено, что неровности с наибольшими параметрами по амплитуде выявлены на участках со стрелочными переводами. На 232 км 8-9 пк в месте стрелочного перевода выявлена длинная неровность в профиле амплитудой 55 мм и длиной более 100 м, что является одним из факторов, влияющих на показатели динамики подвижного состава и плавность хода поездов на участках скоростного и высокоскоростного движения.

Для оценки изменения параметров длинных неровностей в местах стрелочных переводов до и после проведения капитального ремонта пути, был отобран участок 2-го пути на 187 км направления Санкт-Петербург-Москва.

На 187 км в 2022 году проводился капитальный ремонт с заменой стрелочных переводов на высокоскоростные на участках:

187 км 807 м – стр. №13;

187 км 833 м – стр. №1;

187 км 898 м – стр. №15.

На этом километре был проведен анализ изменения параметров длинных неровностей в профиле до проведения ремонта и после – рисунки 2.18-2.11.

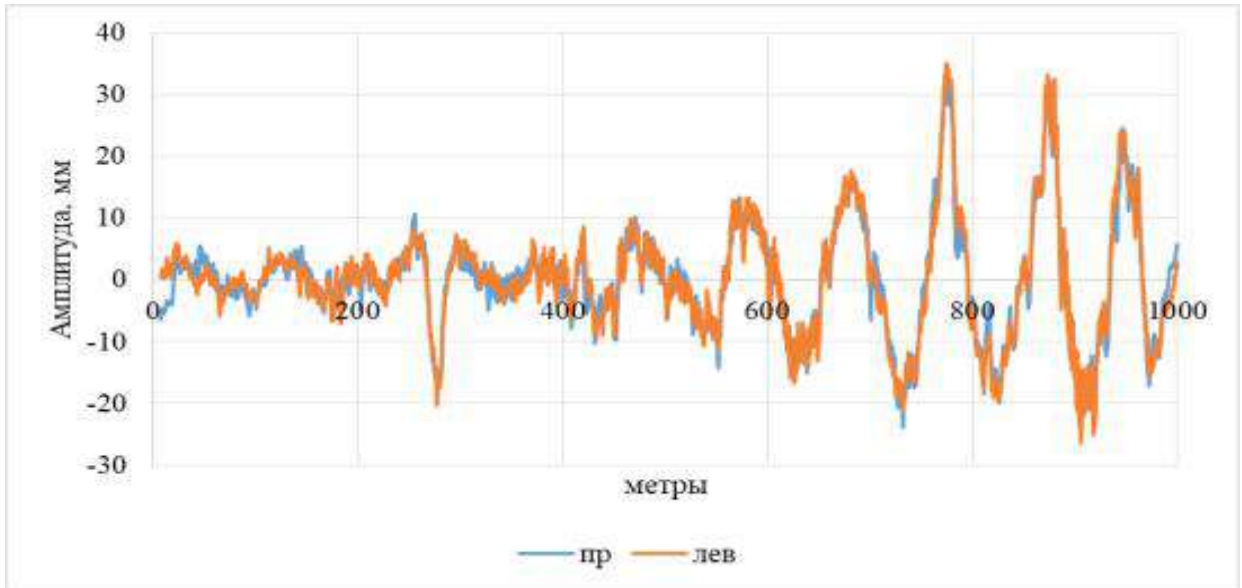


Рисунок 2.18 – Длинные неровности в профиле на 187 км в феврале 2022 года до проведения ремонта.

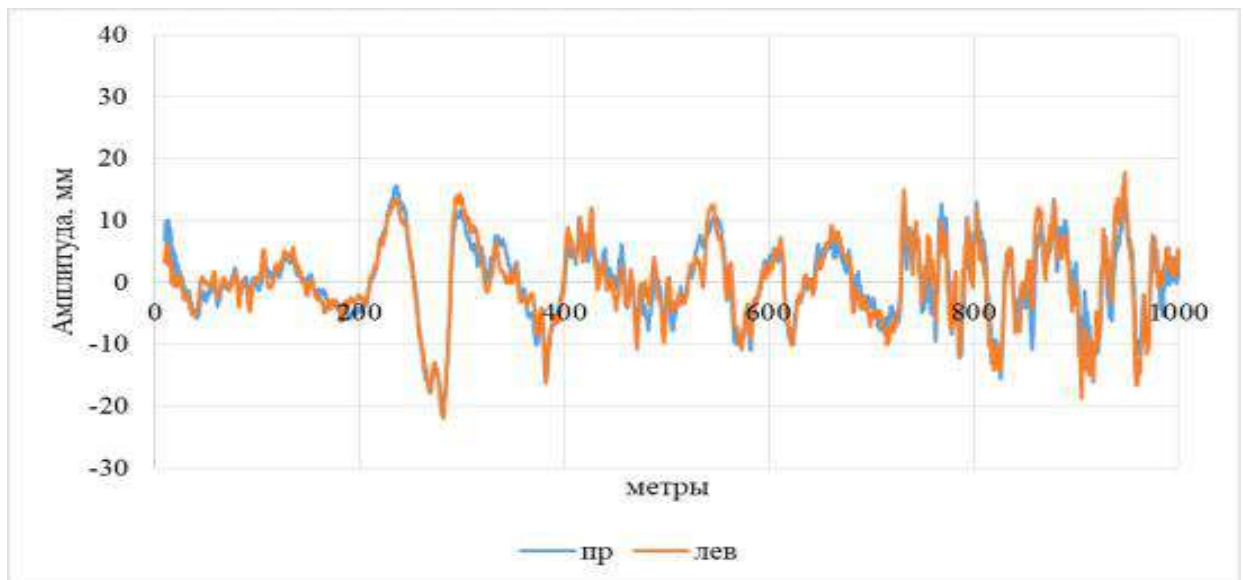


Рисунок 2.19 – Длинные неровности в профиле на 187 км в сентябре 2022 года после проведения ремонта.

На рисунках видно, что после проведения ремонта параметры длинных неровностей в профиле уменьшились с максимальной амплитуды 55 мм в феврале 2022 года до 35 мм в сентябре 2022 года.

Проведенным анализом установлено, что проведение капитального ремонта

пути позволяет уменьшить параметры длинных неровностей в местах стрелочных переводов (в этих местах были выявлены неровности с наибольшими амплитудами на всей линии Санкт-Петербург-Москва), что особенно важно в условиях организации высокоскоростного движения.

Анализ данных проходов путеизмерительных вагонов на опытных участках Московской железной дороги

На Московской железной дороге для получения параметров длинных неровностей в профиле был проведен анализ данных проходов вагонов-путеизмерителей в сентябре 2021 года на направлении Сандарово-Яганово (ПЧ-32), 1 путь.

В качестве примеров на рисунках 2.20-2.22 представлены неровности в профиле на 283 и 284 километрах опытного участка, т.к. на этих километрах зафиксированы неровности с наибольшими амплитудами.

Так, на 283 км 1 пути направления Сандарово-Яганово, были выявлены длинные неровности в профиле с максимальной амплитудой 164 мм и длиной 200 м.

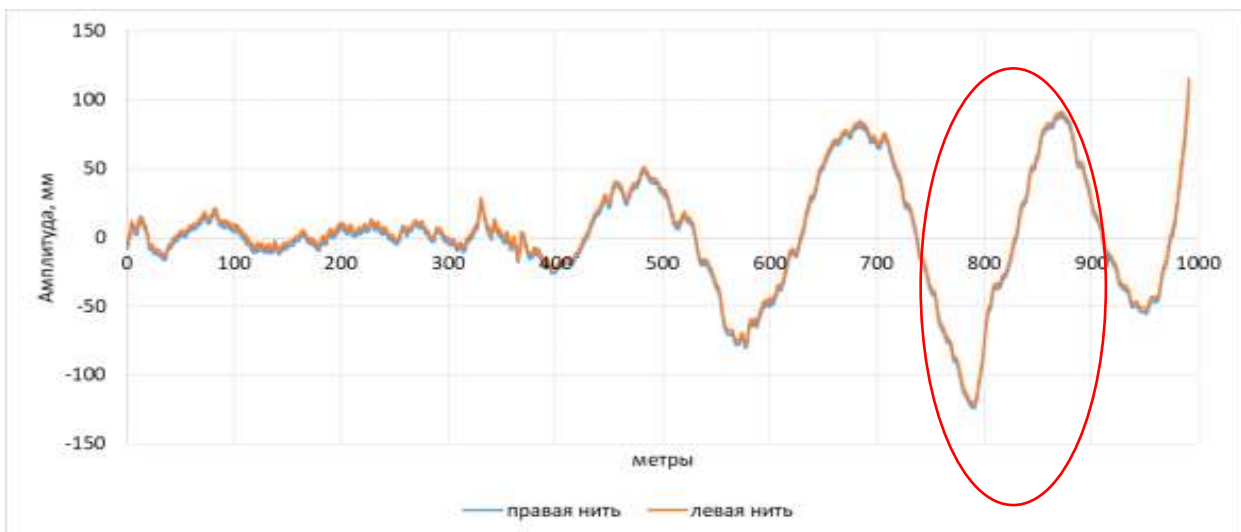


Рисунок 2.20 – Неровности в профиле на 283 км направления Сандарово-

Яганово, 1 путь, сентябрь 2021 г.

На 284 км 1 пути направления Сандарово-Яганово параметры выявленных длинных неровностей в профиле составили – до 104 мм по амплитуде и до 98 м по длине

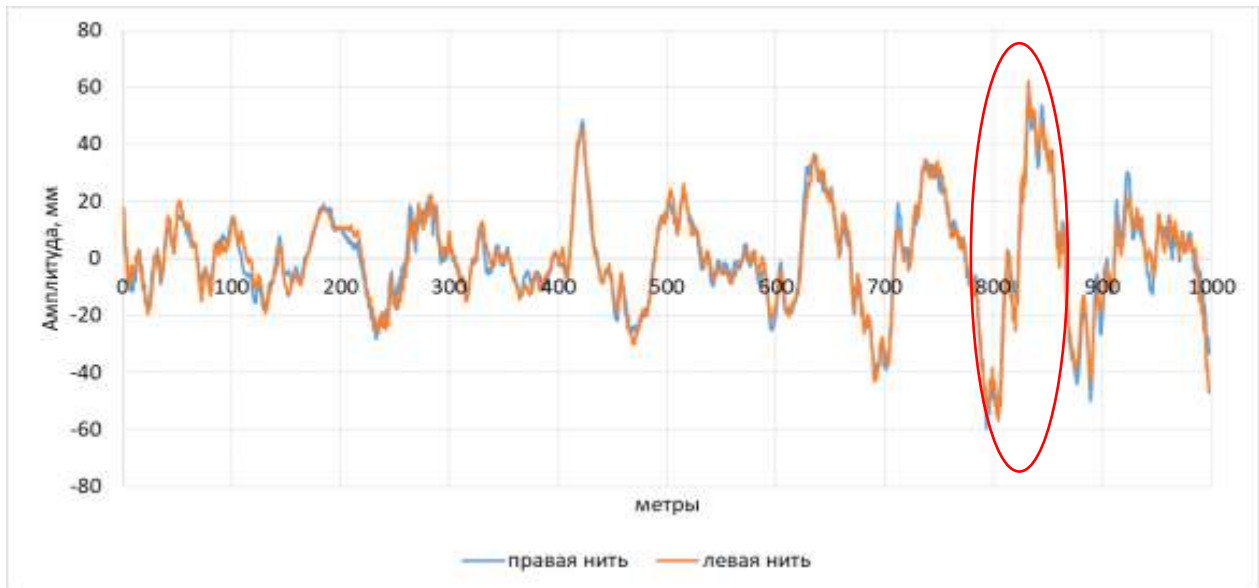


Рисунок 2.21 – Неровности в профиле на 284 км направления Сандарово-Яганово, 1 путь, сентябрь 2021 г.

Параметры выявленных неровностей на направлении Сандарово-Яганово были сгруппированы в общую группу.

По результатам анализа было установлено, что на опытных участках характеристики длинных неровностей находятся в диапазонах значений представленных в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Статистические характеристики длинных неровностей в профиле на опытных участках Московской железной дороги

Участок	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона, ‰
	min	max	cp	min	max	cp	max
Сандарово-Яганово	75	164	110	83	200	125	7,81

Таким образом, по результатам обработки данных проходов вагонов-путеизмерителей на опытных участках Московской железной дороги были определены основные параметры длинных неровностей в профиле для использования в дальнейших расчетах.

Анализ данных проходов вагонов-путеизмерителей на горно-перевальном участке Свердловской железной дороги

В качестве опытных участков были выбраны километры на 1 пути направления Екатеринбург-Балезино горно-перевального участка Чепца-Удалы, имеющего 36% уклонов круче 5‰ от всего направления Екатеринбург – Балезино. Руководящий подъем составляет 13,8 ‰.

Анализ параметров длинных неровностей в профиле проводился по данным проходов вагонов-путеизмерителей в 2020 году. На диаграммах (рисунок 2.22) приведены выявленные длинные неровности в профиле с максимальной амплитудой - 119 мм и длиной - 85 м, полученные в результате обработки данных проходов мобильных средств диагностики на 1367 км 1 пути горно-перевального участка Верещагинской дистанции пути.

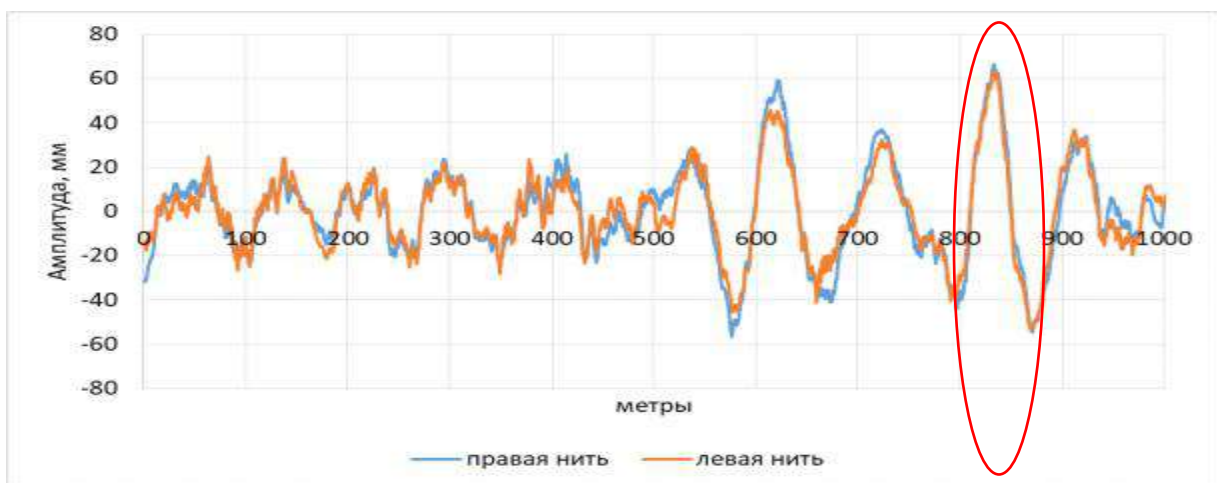


Рисунок 2.22 – Неровности в профиле на 1367 км направления Екатеринбург-

Балезино, 1 путь, август 2020 г.

По результатам анализа выявлено, что на опытных участках характеристики длинных неровностей находятся в следующих диапазонах значений.

Таблица 2.6 – Статистические характеристики длинных неровностей в профиле на горно-перевальном участке Верецагинской дистанции пути.

Участок	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона профиля, ‰
	min	max	ср	min	max	ср	max
Чепца– Удалы	34	119	72,1	55	103	86	7,5

Таким образом, по результатам обработки данных проходов вагонов-путеизмерителей на опытных участках Свердловской железной дороги были определены основные параметры длинных неровностей в профиле для использования в дальнейших расчетах.

Анализ данных проходов путеизмерительных вагонов на опытных участках Дальневосточной железной дороги

На Дальневосточной железной дороге для получения параметров длинных неровностей в профиле был проведен анализ данных проходов вагонов-путеизмерителей в ноябре 2021 года на направлении Надежинская-Кипарисово 2 путь. В качестве примера приведены параметры неровностей в профиле на 9230 и 9231 километрах 2 пути направления Надежинская-Кипарисово. Участки имеют сложное сочетание плана и профиля:

на 9230 километре в профиле - подъем до 7,6‰, в плане кривые радиусом: 388, 372, 485, 239 м;

на 9231 километре в профиле - подъем до 10,5‰, в плане кривые радиусом: 388, 457, 405, 776 м;

Так, на 9230 км 2 пути были выявлены длинные неровности в профиле с максимальной амплитудой 54 мм и длиной 76 м (рисунок 2.23).

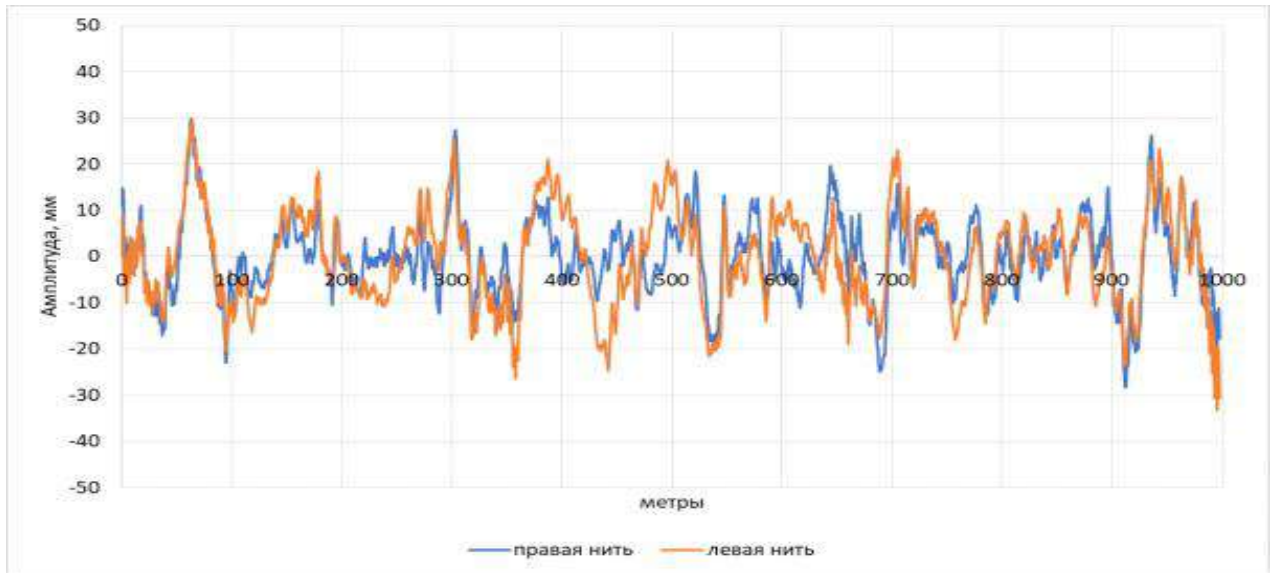


Рисунок 2.23 – Неровности в профиле на 9230 км направления Надежинская-Кипарисово 2 путь, ноябрь 2021 г.

Параметры выявленных неровностей были сформированы в группу. По результатам анализа было установлено, что на опытных участках характеристики длинных неровностей находятся в следующих диапазонах значений представленных в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Статистические характеристики длинных неровностей в профиле на опытных участках Дальневосточной железной дороги

Участок	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона профиля, ‰
	min	max	средняя	min	max	ср	max
Наеждинская-Кипарисово	45	54	51	63	76	70	5,01

Таким образом, по результатам обработки данных проходов определились основные параметры длинных неровностей в профиле для использования в дальнейших расчетах.

Таблица 2.8 – Сводные данные параметров длинных неровностей на опытных участках .

Дороги	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона профиля, ‰
	min	max	средняя	min	max	ср	max
Горьковская	36	81	55	57	108	90	4,9
Северная	22	125	60	50	115	90	8,1
Московская	75	164	110	83	200	125	7,81
Свердловская	34	119	72	55	103	86	7,5
Дальневосточная	45	54	51	63	76	70	5,01

Анализ данных проходов вагонов – путеизмерителей на участках сходов подвижного состава

Для анализа параметров длинных неровностей в профиле рассматривались участки схода на Московской, Забайкальской, Южно-Уральской и Дальневосточной железных дорогах (2020-2023 гг):

223 км второго главного пути на перегоне Лазарево – Щекино Московской железной дороги (профиль пути – подъем 9,0 ‰).

7045 км второго главного пути перегона Чичатка-Жанна Забайкальской железной дороги (профиль пути – подъем до 9,1‰);

1978 км первого главного пути перегона Сыростан – Хребет Южно-Уральской железной дороги (профиль пути – подъем 8,0 ‰);

100 км первого главного пути перегона Тигровый – Фридман Дальневосточной

железной дороги.

По результатам проведенного анализа на данных километрах были выявлены длинные неровности в профиле со следующими параметрами – таблица 2.9:

Табл. 2.9 – Статистические характеристики длинных неровностей в профиле (по максимумам) на участках сходов

Дороги	км	Амплитуда тах, мм	Длина тах, м	Алгебраическая разность уклона профиля, ‰
Московская	223	63	115	3,11
Забайкальская	7045	142	88	9,32
Южно-Уральская	1979	106	81	5,39
Дальневосточная	100	140	77	4,00

Полученные параметры неровностей, позволили посчитать алгебраическую разность смежных уклонов, которая (по максимумам) составила: 3,11 ‰ в месте схода на Московской железной дороге, 4,00 ‰ - на Дальневосточной железной дороге, 5,39 ‰ – на Южно-Уральской железной дороге, 9,32‰ – на Забайкальской железной дороге. При этом длинные неровности продольного профиля, как правило, не имеют вертикальных радиусов в местах сопряжения уклонов, а длины элементов продольного профиля оказываются существенно короче допускаемых согласно действующим нормативам [34]. На рисунках 2.24-2.27 приведены параметры неровностей в вертикальной плоскости, полученные по результатам обработки данных путеизмерительных вагонов с использованием передаточных функций на участках сходов.

Места сходов подвижного состава выделены красным цветом.

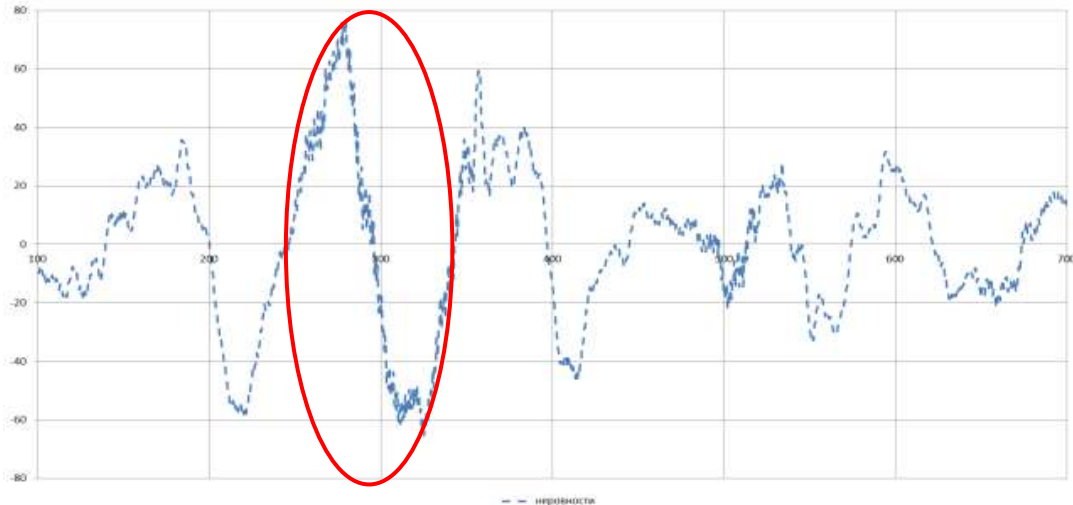


Рисунок 2.24 – Неровности на участке схода 7045 км, 2 путь, Забайкальская железная дорога.

Анализ проходов вагонов-путьеизмерителей на 7045 км 2 пути перегона Чичатка -Жанна Забайкальской железной дороги в марте и феврале 2021 года (сход произошел 8 марта 2021 года) показал, что на участке с длинными неровностями были выявлены следующие отступления и неисправности по геометрии рельсовой колеи в вертикальной плоскости.

В марте месяце:

7045 км 4 пк - просадка амплитудой 28 мм на длине 4 м (4 степень);

перекосы 2 степени – 4 шт., просадки 2 степени –1 шт., рихтовка – 1 шт.

Балловая оценка километра – «неудовлетворительно».

В феврале месяце: перекосы 2 степени – 2 шт., просадки 2 степени –2 шт.,

рихтовка – 2 шт. Балловая оценка километра – «хорошо».

Полученные данные указывают, что на участке имеет место сочетание длинных и коротких профильных неровностей.

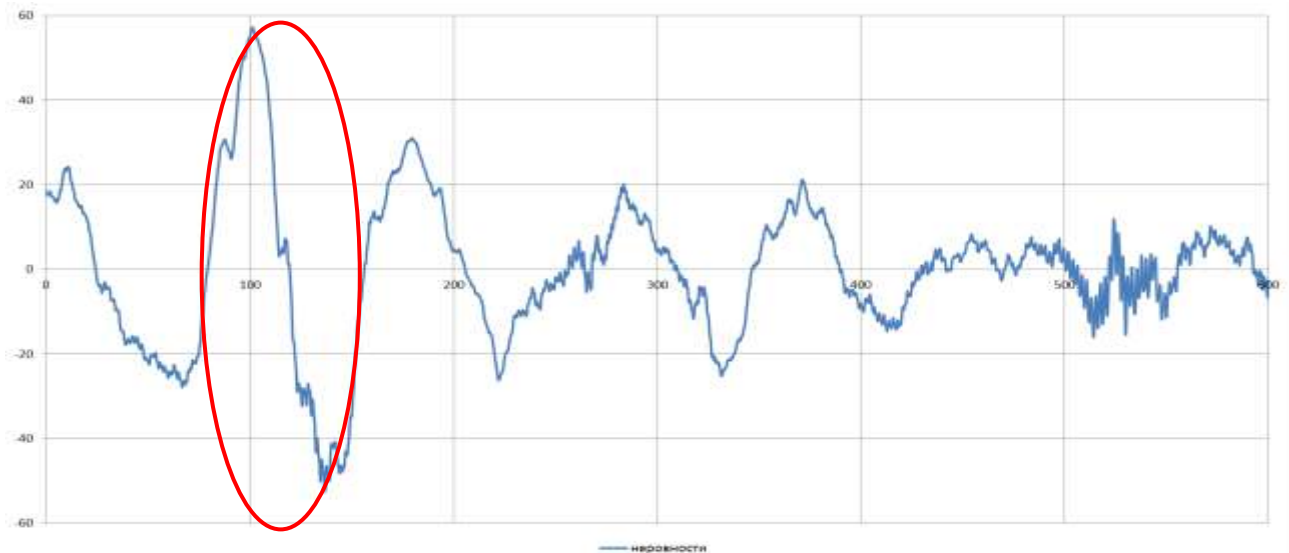


Рисунок 2.25 – Неровности на участке схода 1979 км, 2 путь, Южно-Уральская железная дорога.

Анализ проходов путеизмерительных вагонов на 1979 км 2 пути Южно-Уральской железной дороги за период, предшествующий сходу, показал, что на участке с длинными неровностями (рис.2.17) были выявлены следующие отступления и неисправности по геометрии рельсовой колеи в вертикальной плоскости:

всего отступлений 2 степени – 4 шт., 3 степени – 0 шт., неисправностей 4 степени не выявлено, км оценен «хорошо» (6 баллов).

Полученный анализ показал, что на участке также имеется сочетание длинных профильных и коротких неровностей 2 степени.

На 223 км 2 пути Московской железной дороги в июле 2021 года на участке с длинными неровностями (рисунок 2.26) были выявлены следующие отступления и неисправности: 8 перекосов 2 степени, 1 просадка 2 степени амплитудой 13 мм на длине 3 м, 3 отступления по рихтовке 2 степени.

Километр имеет оценку «хорошо».

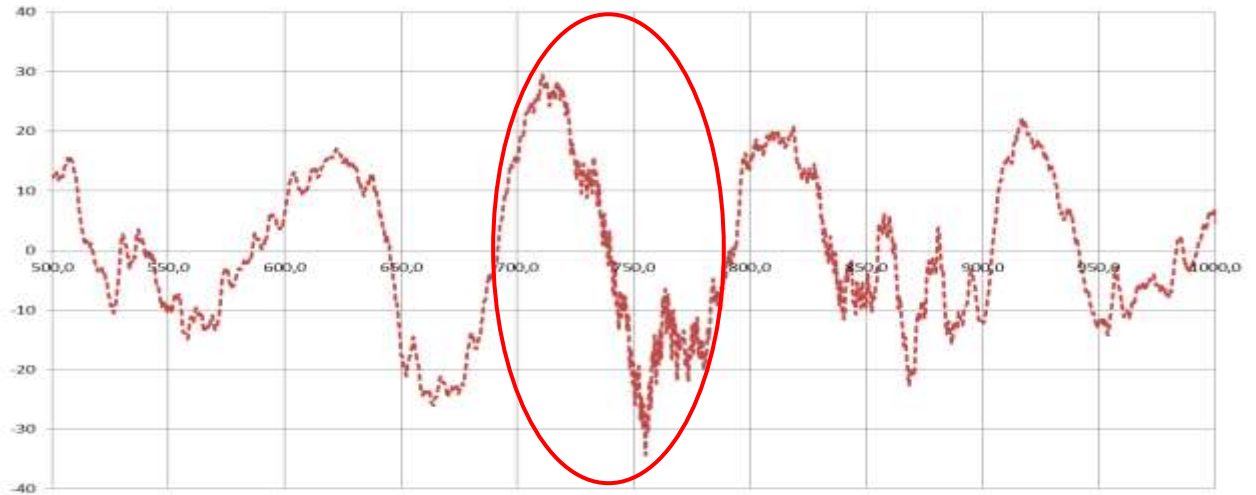


Рисунок 2.26 – Неровности продольного профиля на месте схода подвижного состава 223 км, 2 путь, Московская железная дорога.

На 100 км 1 пути Дальневосточной железной дороги в апреле 2023 года на участке с длинными неровностями (рисунок 2.27) были выявлены следующие отступления и неисправности:

1 перекося 2 степени амплитудой 19 мм на длине 7 м, 2 просадки 2 степени амплитудой 24 мм на длине 3 м. и 15 мм на длине 4 м, 1 отступления по рихтовке 2 степени 36 мм на длине 32 м.

Километр имеет оценку «неудовлетворительно» из-за дополнительного параметра – боковой износ рельса (500 м за местом схода).

Таким образом, было установлено, что на участке схода были выявлены длинные неровности в профиле амплитудой до 142 мм, а также сочетания длинных и коротких неровностей.



Рисунок 2.27 – Неровности продольного профиля на месте схода подвижного состава 100 км, 1 путь, Дальневосточная железная дорога.

Неконтролируемые в настоящее время длинные неровности продольного профиля могут служить одним из факторов, способствующих сходу.

Детальное рассмотрение этого вопроса требует проведения дополнительных модельных экспериментов с целью установления связи между длиной и амплитудой неровностей пути и короткими неровностями.

Анализ данных проходов путеизмерительных вагонов на участках сложного профиля

В работе дополнительно был проведен анализ параметров длинных неровностей в профиле на участках сложного профиля (сочетания подъемов и спусков до 15,8%).

Для анализа параметров длинных неровностей на участках сложного профиля были отобраны участки в границах Красноярской, Северо-Кавказской и Горьковской железных дорог.

Характеристики участков анализа приведены в таблице 2.10:

Таблица 2.10 Характеристики участков со сложным профилем

Дорога	Направление	Путь	КМ	Профиль
Красноярская	Новосибирск- Красноярск	2	3707 - 4082	до 11,6 %
	Красноярск- Тайшет	2	4098 - 4487	до 11,0 %
Северо- Кавказская	Отрожка- Ростов	1	1038 - 1225	до 15,8 %
Горьковская	Юдино- Екатеринбург	1,2	1344- 1569	до 9,8 %

Анализ проводился по данным проходов вагонов-путеизмерителей в ноябре 2021 и мае 2022 года.

На рисунках 2.28-2.29 приведены примеры километров в границах перегонов, на которых были выявлены длинные неровности в вертикальной плоскости различных параметров.

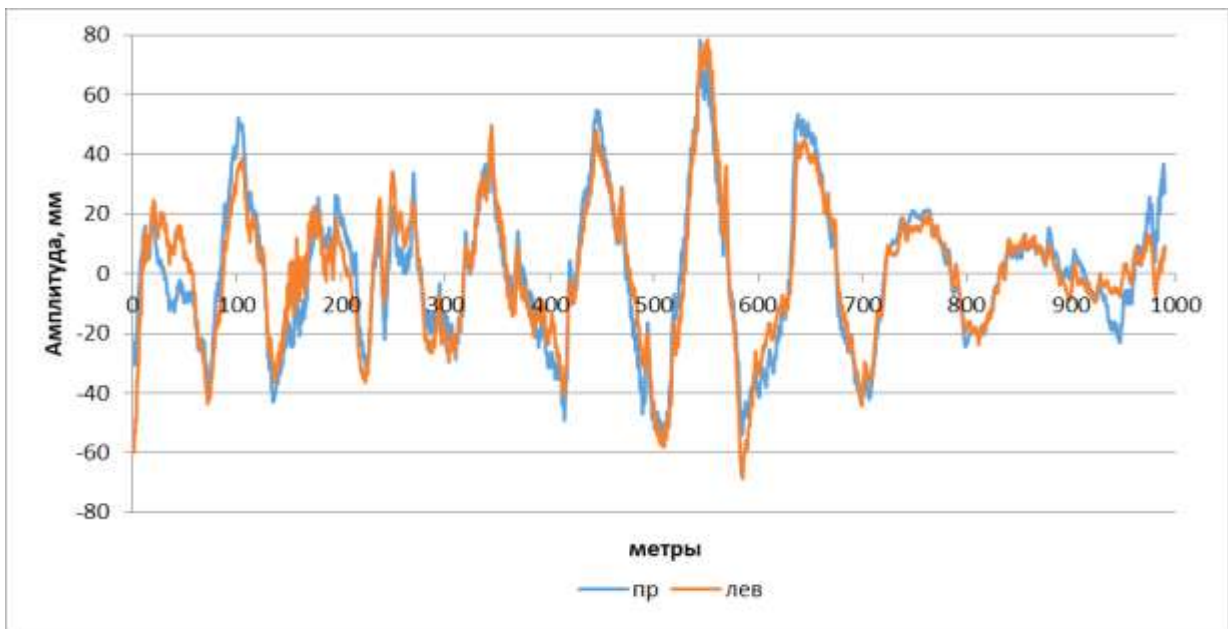


Рисунок 2.28 – Неровности в профиле на 4230 км, 2 путь, ноябрь 2021 г Красноярская железная дорога.

Из графика на рисунке 2.28 следует, что на данном участке на 5-7 пикетах имеются длинные неровности в профиле с амплитудой до 135 мм и длиной до 105 м. Также на участке в месте длинной профильной неровности (4230 км 595 м) имеется стрелочный перевод.



Рисунок 2.29 – Неровности в профиле на 1436 км, 2 путь, май 2022 г.

Горьковская железная дорога.

Анализ диаграмм на рисунке 2.29 показал, что на данном участке на 8 пикете имеется длинная неровность в профиле с амплитудой 108 мм и длиной 80 метров.

Качественная оценка по основным параметрам (ф.ПУ-32) на 1436 километре в мае 2022 г – «отлично». Выявлены отступления: 1 перекося 2 степени амплитудой 12 мм на длине 17 м.

По дополнительным параметрам, контролируемым мобильными средствами путеизмерения, сверхнормативные длинные неровности на километре не обнаружены.

Обобщенные результаты анализа показали, что на участках сложного профиля (с уклонами до 15,8 ‰) длинные профильные неровности по максимальным значениям достигают 135 мм по амплитуде и 125 м по длине – таблица 2.11. При

этом углы вершин неровностей (разность уклонов) по максимумам достигают 12,4‰, что превышает установленные нормативы алгебраической разности уклонов профиля в вертикальной плоскости (по нормативу – не более 10‰). Качественная оценка состояния пути по ГРК на участках с максимальными значениями длинных неровностей – «отлично» и «хорошо», а наличие длинных неровностей на этих участках путеизмерителями не зафиксировано, что указывает на то, что длинные неровности в профиле в настоящее время штатными путеизмерительными вагонами не контролируются в полном объеме.

Таблица 2.11 – Статистические характеристики длинных профильных неровностей на участках со сложным профилем.

	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона профиля, ‰
	min	max	средняя	min	max	средняя	max
Новосибирск-Красноярск	30	110	60	45	100	72	9,1
Красноярск-Тайшет	26	135	70	44	125	80	11,4
Отрожка-Ростов	35	100	65	25	100	70	12,4
Юдино-Екатеринбург	25	110	64	30	100	84	7,7

Как показали результаты анализа, наибольшие значения амплитуд и длин неровностей зафиксированы на станциях и подходах к ним (в местах стрелочных переводов), а также при наличии на километре искусственных сооружений (например, мостов).

На путях перегонов, в основном, выявлены неровности с параметрами, близкими к средним.

На участках выявлены места с сочетаниями длинных и коротких неровностей в профиле. Короткие неровности в профиле – просадки, перекосы, уровень –

контролируются путеизмерительными вагонами и нормируются Инструкцией по оценке состояния пути 43бр.[5] Наибольшее количество отступлений 2 степени в профиле (просадок, перекосов) на участках с длинными профильными неровностями составило 22 шт./км.

Выводы к анализу проходов путеизмерительных вагонов на опытных участках

Проведенная работа по анализу данных проходов путеизмерительных вагонов и вычисленных натуральных неровностей на участках Горьковской, Северной, Октябрьской, Московской, Свердловской и Дальневосточной железных дорог, позволила определить параметры длинных неровностей в профиле (амплитуды, длины, алгебраическая разность уклонов смежных элементов) на опытных участках, а также на участках допущенных сходов. Полученные параметры неровностей в профиле представлены в таблице 2.12.

Результаты проведенного исследования показали:

1. По длине параметры неровностей в профиле распределились в диапазоне от 30 до 200 м, по амплитуде – от 22 до 164 мм;
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 (например, мостов).
3. Максимальная алгебраическая разность уклонов профиля (9,1-12,1‰) выявлена на участках сложного профиля с уклонами до 15,8‰ (Красноярская ж.д.) и на участках сходов (Забайкальская ж.д.);
4. Участки с последовательно расположенными длинными неровностями в профиле (до 4-х штук подряд) выявлены на Горьковской, Северной, Московской дорогах. Подобные сочетания не нормированы и не контролируются в настоящее время штатными путеизмерительными средствами;

5. На участках с длинными профильными неровностями были выявлены сочетания длинных и коротких неровностей (короткие неровности в профиле – просадки, перекосы, уровень – контролируются вагонами-путеизмерителями и нормируются в соответствие с Инструкцией по оценке состояния пути 436р) [5];

Наибольшее количество отступлений 2 степени в профиле (просадок, перекосов, по уровню) на участках с длинными профильными неровностями составило 22 шт/км – на перевальных участках, наименьшее 7 шт/км – на участках скоростного хода.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что параметры длинных неровностей выявленных на различных участках дорог определяются грузонапряжённостью, состоянием земляного полотна и структурой поездотока.

В современных условиях для обеспечения безопасности движения необходима разработка нормативов содержания пути по параметрам длинных неровностей и допускаемым при этом условиям эксплуатации, параметрам сочетания длинных неровностей с короткими неровностями, что является целью данной работы и подтверждает актуальность проведенных исследований.

Таблица 2.12 – Характеристики длинных неровностей **в профиле** на рассмотренных участках

Дорога	Направление	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона профиля, ‰	Примечание
		min	max	средняя	min	max	средняя	max	
Горьковская	Киров-Ардаши, Ардаши-Чепца, Киров-Сольвычегодск	36	81	55	57	108	90	4,9	участки с кривыми малого радиуса
Северная	Малошуйка-Обозерская, Кастриха-Свеча	22	125	60	50	115	90	8,1	
Октябрьская	Санкт-Петербург-Москва	5	55	19	30	120	64	6,4	участки скоростного хода
	Санкт-Петербург-Бусловская	18	59	42	38	125	73	4,7	
Московская	Сандарово-Яганово	75	164	110	83	200	125	7,8	участки на стрелочных переводах
Свердловская	Чепца-Удалы	34	119	72	55	103	86	7,5	перевальный участок
Д-Восточная	Надежинская-Кипарисово	45	54	51	63	76	70	5,0	участки с кривыми малого радиуса

Дорога	Направление	Амплитуда, мм			Длина, м			Алгебраическая разность уклона профиля, ‰	Примечание
Московская, Забайкальская Южно-Урал. Дальневосточная		63	142	-	81	115	-	9,3	участки сходов
Красноярская	Новосибирск-Красноярск	30	110	60	45	100	72	9,1	участки сложного профиля (подъемы и спуски до 15,8‰)
	Красноярск-Тайшет	26	135	70	44	125	80	11,4	
Сев-Кав	Отрожка-Ростов	35	100	65	25	100	70	12,4	
Горьковская	Юдино-Екатеринбург	25	110	64	30	100	84	7,7	

Анализ связи между оценкой состояния пути по существующим нормативам и параметрами натуральных длинных профильных неровностей

Анализ проводился по результатам сравнения оценки состояния пути по существующим нормативам инструкции по оценке состояния пути 436р [5], комплексной оценки состояния пути (КОСП) [49] , натурными параметрами длинных неровностей в профиле, полученными по результатам пересчёта данных путеизмерительных вагонов с учётом передаточных функций измерительной системы.

Для рассмотрения на участках Октябрьской железной дороги были отобраны по три километра с максимальными параметрами неровностей по амплитуде, с дальнейшим их группированием в три диапазона: более 40 мм., 20-40 мм. и менее 20 мм.. Длины неровностей составили от 50 до 200 метров.

Результаты анализа показали, что по всем трем диапазонам независимо от параметров длинных неровностей, по Комплексной оценке состояния пути и по ведомости ПУ-32 большинство километров имеют оценку «отлично» - таблица 10.1.

Так, на 586 километре при наличии 3-х повторяющихся длинных профильных неровностей амплитудой 45-48 мм на длине 200 м, вагоном-путеизмерителем были выявлены: 2 перекоса 3 степени, 4 перекоса и 3 просадки 2 степени. Длинные профильные неровности не зафиксированы.

На 394 километре при наличии 4-х длинных неровностей амплитудой 20-26 мм и 1-й неровности амплитудой 40 мм на длине 67 м, вагоном-путеизмерителем выявлен 1 перекося 2 степени. Длинные профильные неровности путеизмерителем не зафиксированы.

На 232 километре при наличии длинных неровностей с максимальной амплитудой 53 мм, отступления 2 и 3 степени, а также длинные неровности путеизмерительным вагоном не выявлены.

Дополнительно на участке Беломорск-Обозерская Северной железной дороги был проведен анализ повторяемости оценок километров, получивших

«удовлетворительную» и «неудовлетворительную» оценку по дополнительным параметрам инструкции 436/р [5].

За период январь-октябрь 2021 года на Малошуйской дистанции пути были выявлены километры с «удовлетворительной» и «неудовлетворительной» оценкой состояния пути по следующим дополнительным параметрам:

- по наличию длинных профильных неровностей;
- по превышению величины непогашенного ускорения;
- по превышению величины стыковых зазоров.

Наибольшее количество километров (65%), на которых были выявлены неисправности по дополнительным параметрам – это километры, оцененные «удовлетворительно» по причине наличия длинных профильных неровностей (рисунок 2.30).

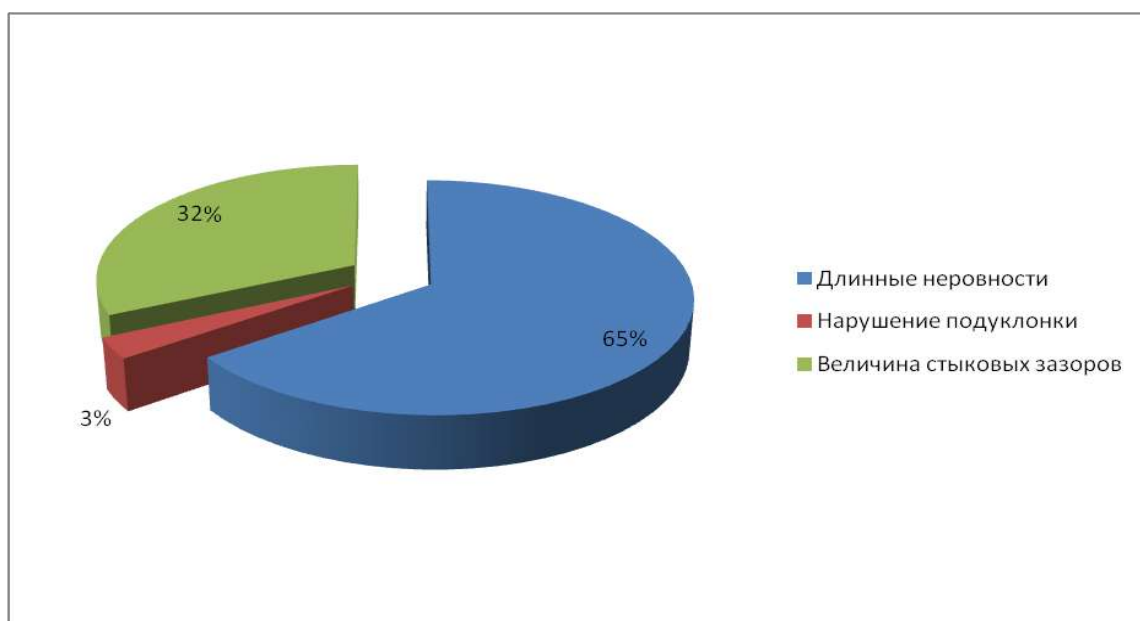


Рисунок 2.30 – Распределение километров по дополнительным параметрам.

Анализ повторяемости километров, которые были оценены «удовлетворительно» по длинным профильным неровностям показал, что как правило это одни и те же километры. Так в июле и октябре длинные профильные неровности были выявлены на 144, 182, 220 и 249 километрах, а в марте, мае и июне – на 289 километре (таблица 2.13).

Таблица 2.13 – Километры с «удовлетворительной» оценкой состояния пути по длинным профильным неровностям

месяц проверки	километр
январь	-
февраль	259
март	-
апрель	289
май	150, 170, 289
июнь	289
июль	144, 182, 220, 222, 249
август	-
сентябрь	143, 169, 170, 179
октябрь	144, 182, 220, 248, 249

Для проведения детального анализа в качестве примера рассмотрен участок 144 километра, имеющий оценку «удовлетворительно» по причине наличия длинных профильных неровностей в июле и октябре (согласно Инструкции 436р и ведомости по оценке параметров геометрии рельсовой колеи ПУ-32). В январе-июне и августе-сентябре данный километр имеет «отличную» и «хорошую» оценку.

Согласно ведомостей проходов путеизмерительных вагонов (ф.ПУ-32), на 144 км пкб выявлены:

в июле 2021г: длинная неровность в профиле амплитудой 69 мм; в октябре 2021г: длинная неровность в профиле амплитудой 67 мм;

В результате пересчёта данных путеизмерительных вагонов с учётом передаточных функций измерительной системы параметры длинных неровностей на 144 км 6 пк составили:

в июле 2021г: длинная неровность в профиле амплитудой 100 мм на длине 63 м;

в октябре 2021г: длинная неровность в профиле амплитудой 100 мм на длине 64 м.

Таким образом, фактические параметры натуральных неровностей в среднем на ~30% выше, чем параметры неровностей, указанные в ведомости проходов

путеизмерительных вагонов ПУ-32.

На рисунке 2.31 приведены примеры изменения параметров длинных натуральных неровностей в профиле за период февраль-октябрь 2021 года на 144 км 5-7 ПК Малошуйской дистанции пути.

Как видно из графиков, тенденция к изменению параметров натуральных неровностей за период с февраля по октябрь (9 месяцев) 2021 года не наблюдается, а параметры изменились менее чем на 10%.

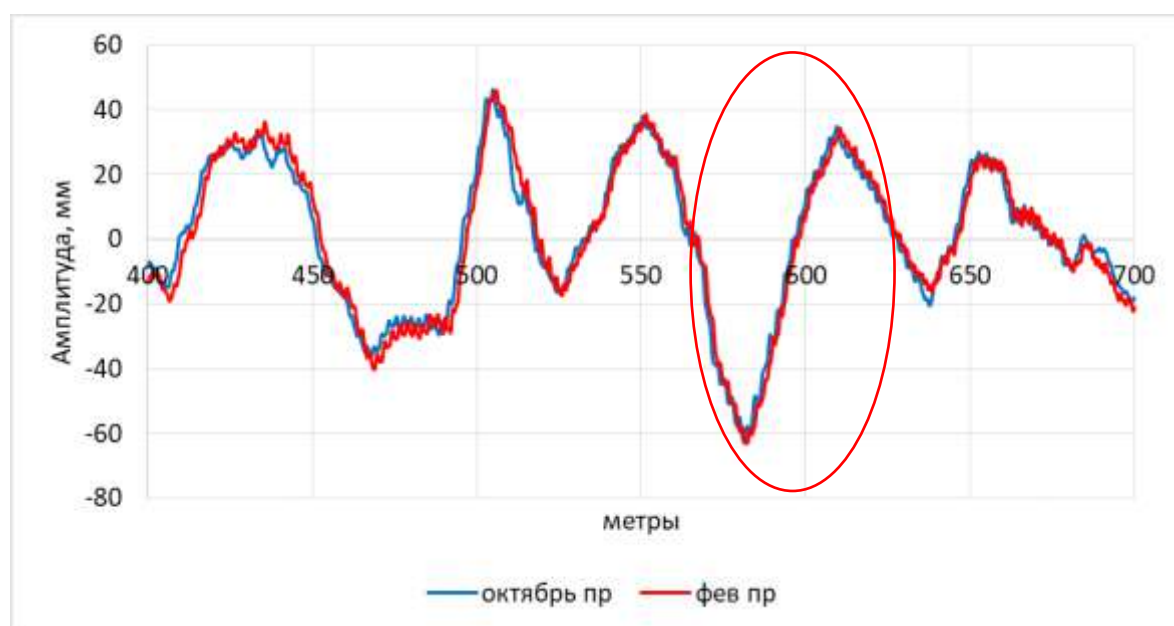


Рисунок 2.31 – Длинные профильные неровности на 144 км в феврале и октябре 2021 года.

Проведённый анализ оценки состояния пути по существующим нормативам на километрах с различными параметрами натуральных неровностей (как с небольшими амплитудами менее 20 мм на Октябрьской железной дороге, так и имеющих значительные величины амплитуд - более 100 мм на Северной железной дороге) позволяет сделать вывод о том, что:

– параметры длинных натуральных неровностей не совпадают с параметрами неровностей выявленных и оцифрованных путеизмерительными вагонами и в среднем на ~30% выше, чем параметры неровностей, указанные в ведомости о состоянии геометрии рельсовой колеи (ф. ПУ-32) и ведомости характеристик сверхнормативных длинных неровностей в плане и профиле (ФПЦ 4.9);

– участки с амплитудами натуральных длинных неровностей до 135 мм имеют «отличную» балловую оценку и не оцениваются по дополнительным параметрам, контролируемым путеизмерительными вагонами;

– участки с периодически повторяющимися длинными неровностями (3 и более шт. на длине до 200 м) вагонами-путеизмерителями не фиксируются;

– длинные профильные неровности фиксируются путеизмерительными вагонами не при каждой проверке;

– существующая система не всегда выявляет длинные неровности, не оценивает их последовательности и сочетания.

Это указывает на то, что существующая система оценки состояния пути недостаточно устойчива и требует соответствующей актуализации.

Оценка сочетания длинных и коротких неровностей в профиле по влиянию на показатели взаимодействия пути и подвижного состава

Ранее проведенным анализом было выявлено наличие на опытных участках сочетаний длинных и коротких неровностей в профиле (просадки, перекосы).

Наибольшее количество таких отступлений 2 степени (просадок, перекосов) было выявлено на участках с длинными неровностями, находящимися в условиях сложного профиля, с подъемами и спусками до 15,8‰ в границах Красноярской, Северо-Кавказской и Горьковской железных дорог. Предварительно на опытных участках, на тех километрах где были выявлены длинные профильные неровности, по результатам проходов вагонов- путеизмерителей, определялось количество отступлений 2 степени в профиле – просадки, перекосы. Данные группировались по условиям эксплуатации опытных участков: с грузонапряжённостью от 30 до 80 млн ткм бр/км в год, с грузонапряжённостью от 80 до 125 млн ткм бр/км в год.

Для построения зависимостей между количеством коротких неровностей 2 степени в профиле (просадок, перекосов) и амплитудами длинных неровностей

при их сочетании, амплитуды длинных неровностей были разделены на диапазоны: 25-50 мм, 50-75 мм, 75-100 мм, более 100 мм.

На рисунках 2.32 и 2.33 представлено распределение среднего количества коротких неровностей в профиле (просадки, перекосы, уровень) на участках с длинными неровностями в представленных выше диапазонах амплитуд.

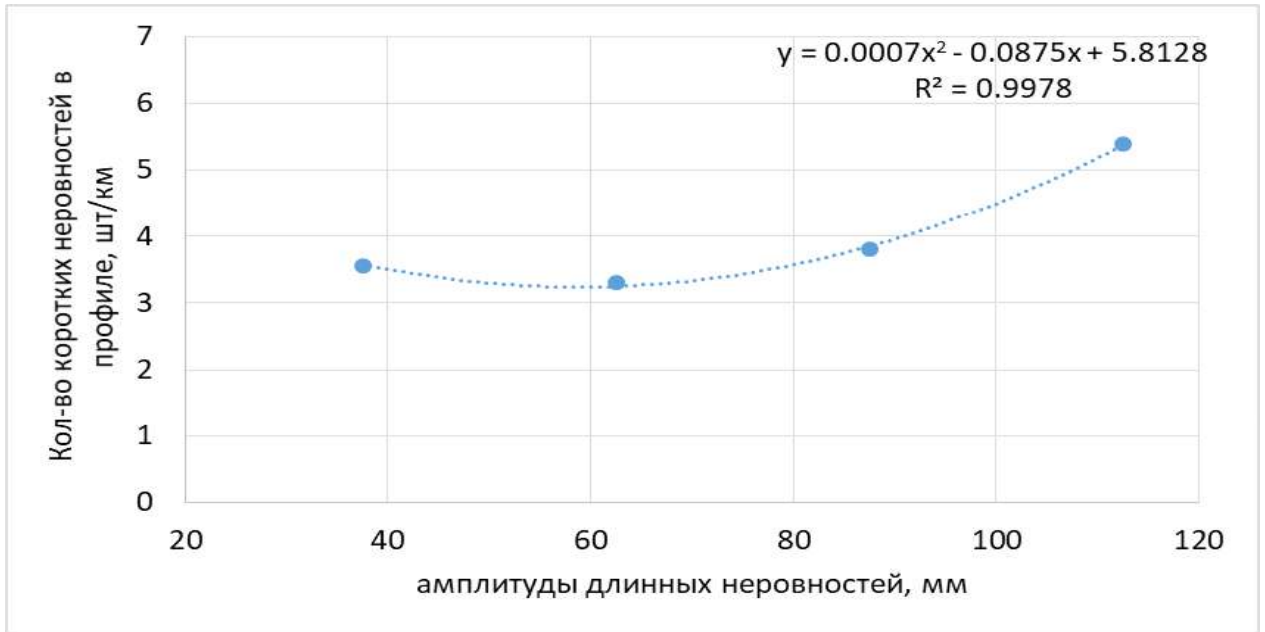


Рисунок 2.32 – Зависимость количества коротких неровностей 2 степени в от амплитуд длинных неровностей на участках с грузонапряжённостью от 30 до 80 млн ткм бр/км в год .

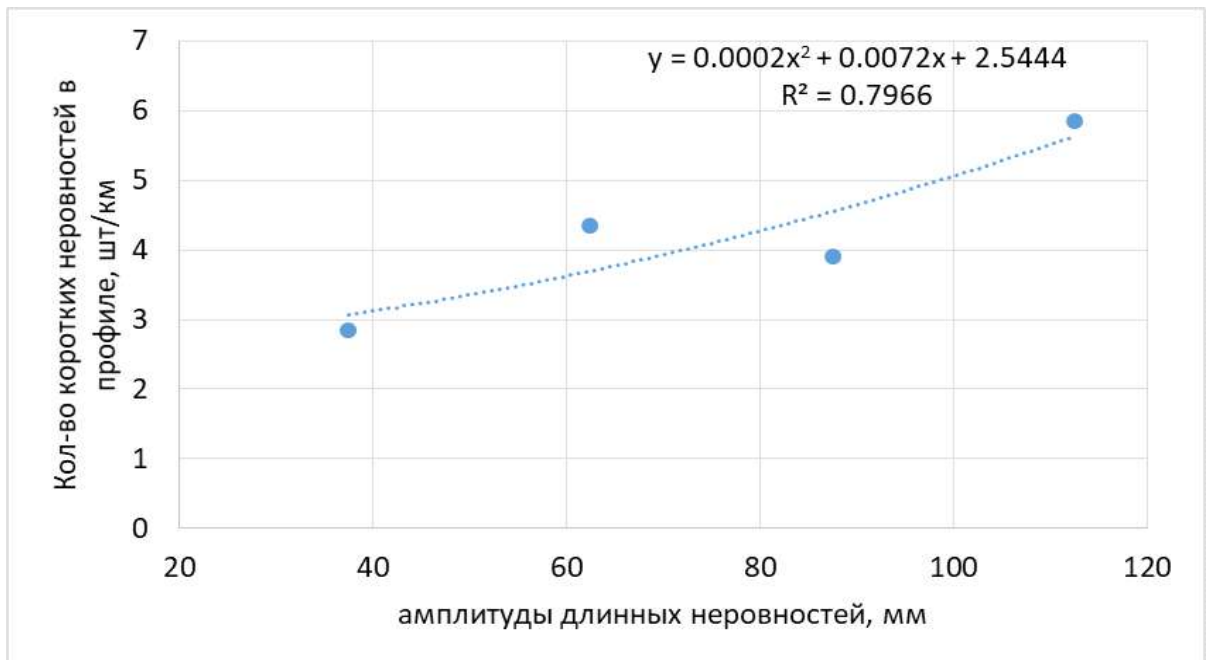


Рисунок 2.33 – Зависимость количества коротких неровностей 2 степени от

амплитуд длинных неровностей на участках с грузонапряжённостью от 80 до 125 млн ткм бр/км в год.

Анализ распределения показал, что количество коротких неровностей возрастает на участках с амплитудами длинных неровностей в диапазоне более 100 мм.

2.4 Выводы по главе

На рассмотренных участках Горьковской, Северной, Октябрьской, Московской, Свердловской, Дальневосточной железных дорог, участках со сложным продольным профилем пути (с уклонами до 15,8‰) и на участках допущенных сходов, в результате проведённых исследований и экспериментов, были определены параметры длинных неровностей в профиле (амплитуды, длины, алгебраическая разность уклонов смежных элементов) с использованием данных проходов путеизмерительных вагонов и определения натуральных неровностей. Результаты проведенного анализа показали:

1. По длине параметры неровностей в профиле распределились в диапазоне от 25 до 200 м, по амплитуде – от 22 до 164 мм;

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

3. На скоростном ходу Октябрьской железной дороги, несмотря на «отличную» балловую оценку, выявлены участки с периодически повторяющимися длинными неровностями в профиле (до 4-х шт. подряд).

4. 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 43бр) (9);

5. Наибольшее количество отступлений 2 степени в профиле (просадок, перекосов, по уровню) на участках с длинными профильными неровностями составило 22 шт/км – на перевальных участках, наименьшее 7 шт/км – на участках скоростного хода.

6. Участки с амплитудами длинных неровностей до 135 мм имеют «отличную» балловую оценку, а по дополнительным параметрам, контролируемым путеизмерительными вагонами, на рассматриваемых километрах сверхнормативные профильные неровности не выявлены;

7. Параметры длинных натуральных неровностей не совпадают с параметрами неровностей выявленных и оцифрованных путеизмерительными вагонами и в среднем на ~30% выше, чем параметры неровностей, указанные в ведомости о состоянии геометрии рельсовой колеи (ф. ПУ-32) и ведомости характеристик сверхнормативных длинных неровностей в плане и профиле (ФПЦ 4.9);

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 современных условиях для обеспечения безопасности движения необходима разработка нормативов содержания пути по параметрам длинных неровностей, не контролируемых в настоящее время, их сочетания с короткими неровностями, что является результатом данной работы.

Полученные данные являются основой разработки временных параметров содержания пути с длинными профильными неровностями для проведения эксплуатационной проверки.

Глава 3. Эксперимент на опытном участке Обозерская – Малошуйка Северной железной дороги

В качестве испытываемого подвижного состава рассматриваются грузовые полувагоны с нагрузкой 23,5 т/ось, при скорости движения до 60 км/ч.

Целью испытаний является получение экспериментальных данных по влиянию длинных неровностей на динамические показатели подвижного состава в объеме, достаточном для верификации расчетных моделей при проведении динамического моделирования при движении подвижного состава.

3.1 Характеристика участка испытаний

Испытания проводились на участке Обозерская – Малошуйка Северной железной дороги протяженностью 167 км (с 352 по 185 км). Участок однопутный. На нем уложены рельсы Р65, бесстыковой путь, скрепления АРС и КБ, железобетонные шпалы, щебеночный балласт. На участке есть кривые с диапазоном радиусов 600-2000 м. Продольный профиль участка – уклоны до 18‰. Путь находится в хорошем и отличном состоянии по состоянию геометрии рельсовой колеи (ГРК), оценке дополнительных параметров результатам проходов вагонов-путеизмерителей и данным комплексной оценки состояния пути (КОСП).

3.2 Описание условий эксперимента и определяемых показателей

Поездка опытного поезда в составе электровоза ЧС-4Т-267 и двух полувагонов с нагрузкой 23,5 т/ось выполнялись по опытному участку Обозерская – Малошуйка Северной железной дороги протяженностью 167 км (с 352км по 185км) в светлое время суток при естественных температурах, атмосферном давлении и влажности воздуха. Поездка проводилась 28 сентября 2021 года.

В соответствии с ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» при оценке показателей динамических качеств вагона используются показатели максимальных вертикальных ускорений обрессоренных частей вагона, поэтому при проведении исследований были определены величины ускорений кузова с правой и левой стороны.

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, для определения низкочастотных колебаний.

Схема размещения датчиков на опытном вагоне приведена на рисунках 3.1 – 3.3.



Рисунок 3.1 – Схема размещения датчиков на опытном вагоне

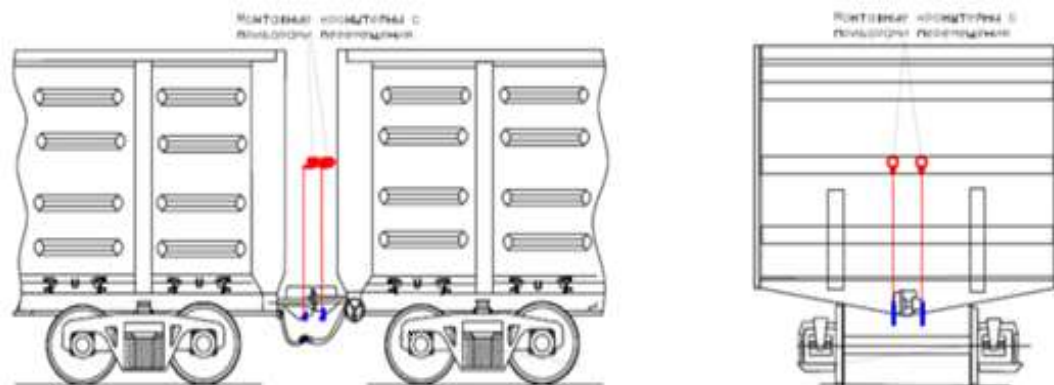


Рисунок 3.2 – Схема размещения датчиков на кронштейнах для записи перемещений автосцепок на опытном вагоне



Рисунок 3.3 – Схема размещения датчиков для записи ускорений на кузове вагона

Для измерения перемещений автосцепок, между двумя грузовыми полувагонами (на втором полувагоне) с двух сторон автосцепки на высоте 170 см устанавливались датчики перемещений. Эти датчики были соединены струнами с автосцепками на двух соседних вагонах. Для регистрации перемещений был использован датчик линейных перемещений. Схема датчика приведена на рисунке 3.4.

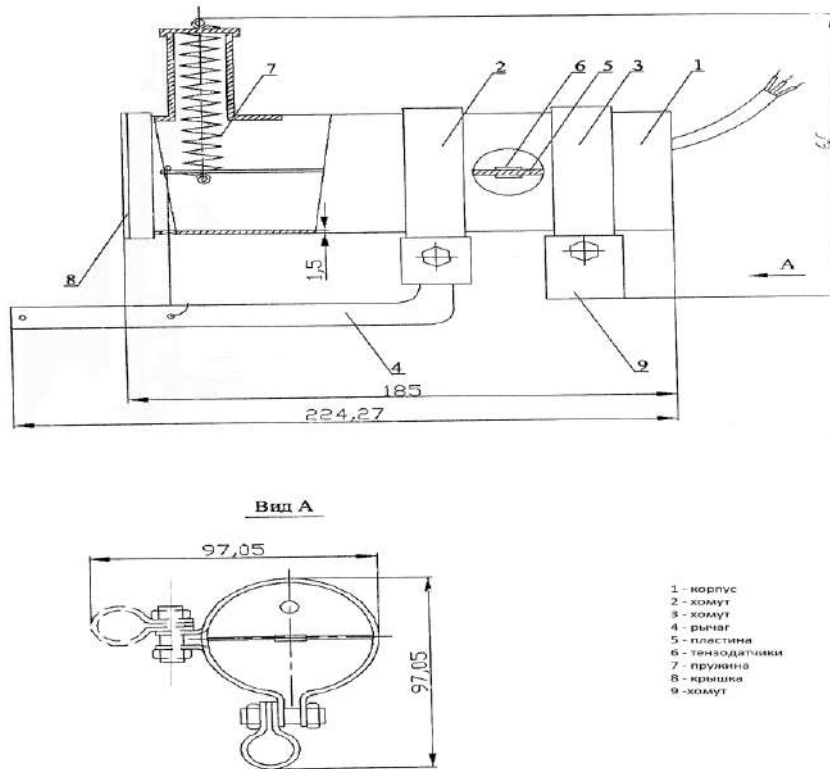


Рисунок 3.4 – Схема датчика для определения перемещений автосцепок.

Схема установки датчиков для определения перемещений автосцепок на двух соседних вагонах приведена на рисунке 3.5.

Датчики измерения ускорения на кузове второго вагона были установлены с правой и левой стороны над первой осью (рисунок 3.5, 3.6).



Рисунок 3.5 – Пример установки датчиков для измерения ускорений на кузове (правая сторона).



Рисунок 3.6 – Пример установки датчиков для измерения ускорений на кузове вагона (левая сторона).

3.3 Результаты опытных поездок на участке Малошуйка – Обозерская

При проведении опытной поездки на подвижном составе выполнены измерения параметров, приведенных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Измеряемые параметры.

№ п/п	Наименование прибора	Место установки прибора
1.	Пр2 (вертикальное перемещение автосцепки)	1 вагон
2.	Пр1 (вертикальное перемещение автосцепки)	2 вагон
3.	ŽКпр (вертикальное ускорение на кузове правая сторона первая ось)	2 вагон
4.	ŽКл (вертикальное ускорение на кузове левая сторона первая ось)	2 вагон

Параметры взаимодействия, записанные в ходе опытной поездки, обрабатывались с помощью программы CATMAN v.4.5.

В соответствии с п. 2.2 ГОСТ 3475-81 [48] запрещается включать в состав поезда грузовые вагоны при высоте продольной оси автосцепки над уровнем верха головок рельсов более 1080 мм и менее 950 мм. Перемещения автосцепок

при движении между вагонами согласно действующей нормативной документации не должны превышать 40 мм.

В ходе проведения испытаний для 1 и 2 вагона были получены перемещения автосцепок на каждом километре участка Обозерская – Малошуйка. Анализ результатов испытаний показал, что на всем участке испытаний перемещения автосцепок на обоих вагонах не превысили нормативного показателя 40 мм. Их значения 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.

Примеры записи перемещения автосцепок приведены на рисунках 3.8 – 3.9.

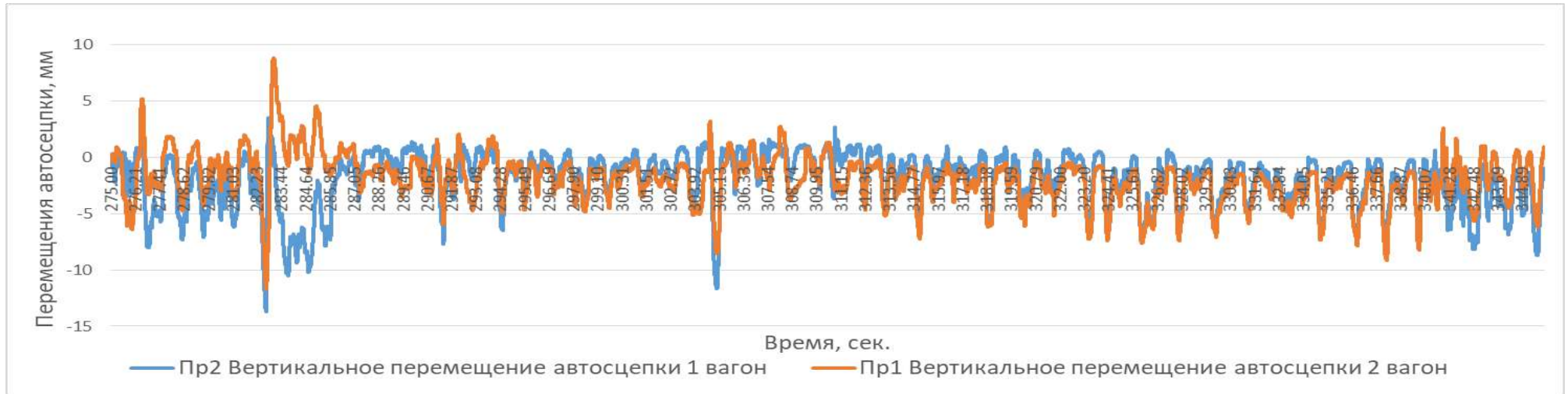


Рисунок 3.8 – График изменения перемещения автосцепок на 324/325 км участка Обозерская – Малошуйка

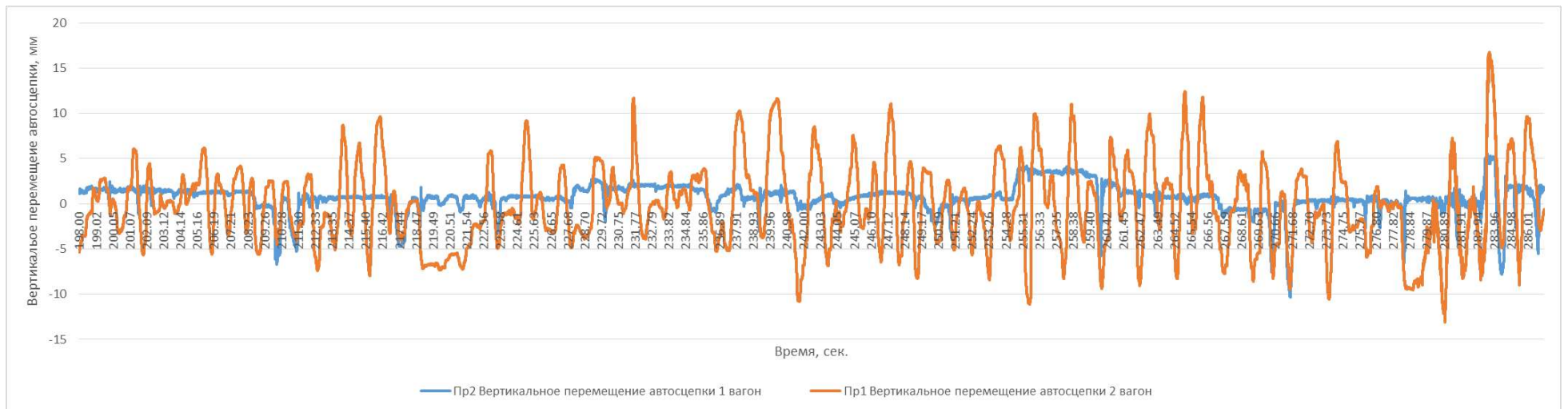


Рисунок 3.9 – График изменения перемещения автосцепок на 294/295 км участка Обозерская – Малошуйка.

На рисунке 3.8 максимальные перемещения автосцепок не превышают на 324 и 325 км 23 мм. На 322 и 323 км они составили 27 мм. Максимальные перемещения автосцепок на 294и 295 км – 25 мм (рисунок 3.9).

Таким образом, на участке Малошуйка – Обозерская вертикальные перемещения автосцепок составили от 10 до 30 мм, что свидетельствует о хорошем состоянии пути на этом участке, то есть неровности на пути, в том числе и длинные, не влияют на этот показатель динамики подвижного состава.

В соответствии с ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» при оценке показателей динамических качеств вагона используются показатели максимальных вертикальных ускорений обрессоренных частей вагона, поэтому при проведении исследований были определены величины ускорений кузова с правой и левой стороны.

Оценка показателей динамики вагона выполняется в соответствии с п.5 таблицы 14 ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам».

Таблица 3.2 – Уровни оценки и допустимые значения показателей динамических качеств в соответствии с 14 ГОСТ 33211-2014.

Показатель	Уровень оценки	Допустимое значение	
		для вагона с минимальной расчетной массой	для вагона с максимальной статической осевой нагрузкой
5. Максимальное вертикальное ускорение обрессоренных частей, в долях от ускорения свободного падения, не более	Отлично	0,50	0,20
	Хорошо	0,60	0,35
	Удовлетворительно	0,70	0,45
	Допустимый	0,75	0,65

Согласно таблице 3.2, для основного критерия оценки динамики вагона принимаем максимальное вертикальное ускорение обрессоренных частей вагона, то есть ускорения на кузове. Полученные в ходе поездки ускорения на кузове

вагона для вагона с максимальной загрузкой оцениваются в долях от ускорения свободного падения, не более при отличном состоянии – 0,2g, при хорошем – 0,35g, удовлетворительном – 0,45g и допустимым – 0,65g.

В ходе проведения испытаний были получены ускорения на кузове для второго вагона на каждом километре участка Обозерская – Малошуйка для правой и левой стороны кузова. Анализ результатов испытаний показал, что на всем участке испытаний ускорения на кузове не превысили нормативного показателя 0,45g или $4,5 \text{ м/с}^2$. На опытных участках, где проводились ручные промеры показателей натуральных неровностей величина ускорения на кузове составила на 246 км по левой стороне - $3,0 \text{ м/с}^2$ и $2,0 \text{ м/с}^2$ - по правой, на 248 км соответственно по левой стороне - $2,0 \text{ м/с}^2$ и $3,0 \text{ м/с}^2$ - по правой, что находится в пределах средних значений по всему направлению

Для проведения анализа полученных ускорений необходимо определить достаточный объём выборки результатов. Для этого использую формулу

$$N = \frac{t_{st}}{K^2}, \quad (3)$$

где N - объём выборки

t_{st} - критерий Стьюдента

$$K - \text{показатель точности, определяемый } K = \frac{\Delta}{\sigma}, \quad (4)$$

где Δ - допустимая неточность

σ - среднее квадратичное отклонение

Исходя из предположения что допустимая точность не должна превышать $0,8 \text{ м/с}^2$, а среднеквадратическое отклонение составило $0,22 \text{ м/с}^2$ достаточный объём выборки составляет 16 измерений. Исходя из полученного условия, по результатам опытных поездок на каждом километре из всех значений ускорений на кузове была сделана выборка из 20 максимальных и минимальных значений ускорений по абсолютному значению. По этим выборкам для каждого километра были определены средние, максимальные, минимальные значения, а также среднеквадратические отклонения.

По результатам обработки данных, полученных в ходе проведения испытаний, были построены распределения средних ускорений кузова по километрам в процентах от общего количества (рисунок 3.10).

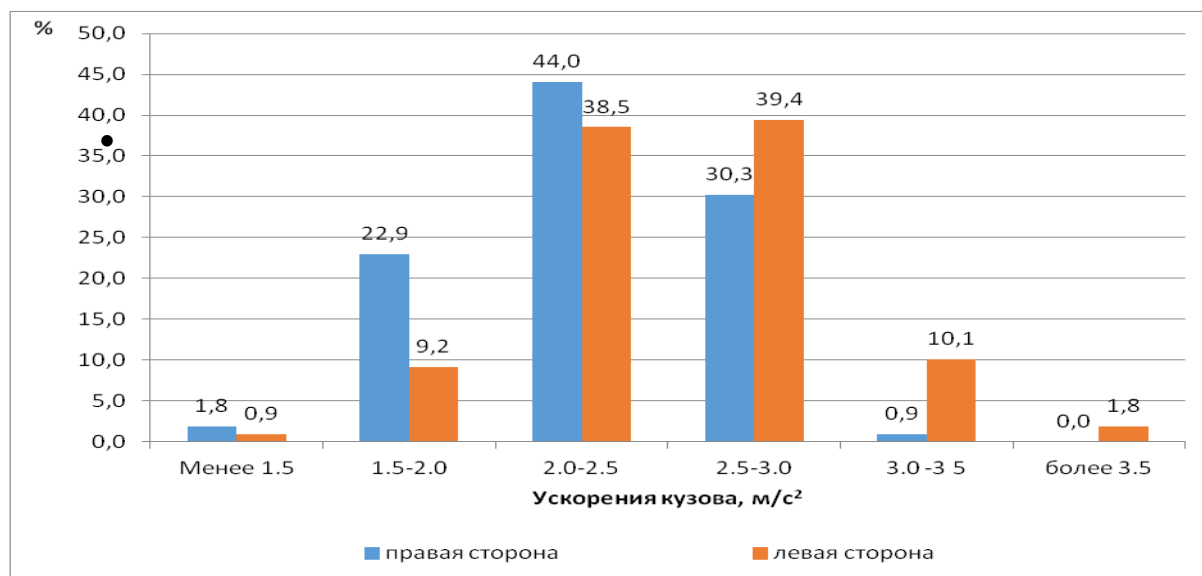


Рисунок 3.10 – Распределение средних ускорений кузова в процентах от общего количества на участке Обозерская – Малошуйка.

Анализ средних ускорений показал, что на участке Обозерская – Малошуйка на 74% километров по правой стороне вагона и на 78% по левой зафиксированы ускорения на кузове в пределах от 2 до 3 м/с². Ускорения на кузове менее 2 м/с² отмечены на 23% по правой стороне вагона и на 10% по левой. На 1% километров по правой стороне вагона и на 10% по левой стороне ускорения кузова находятся в интервале от 3,0 до 3,5 м/с².

Таким образом, на большинстве километров (более 99 %) реализуются ускорения на кузове вагона, которые согласно ГОСТ 33211-2014 [38] могут быть оценены на «хорошо» и «отлично». И только 1,8% ускорений по левой стороне вагона лежат в пределах от 3,5 до 4,0 м/с², что соответствует оценке «удовлетворительно».

Также были построены распределения максимальных ускорений кузова по километрам в процентах от общего количества (рисунок 3.11).

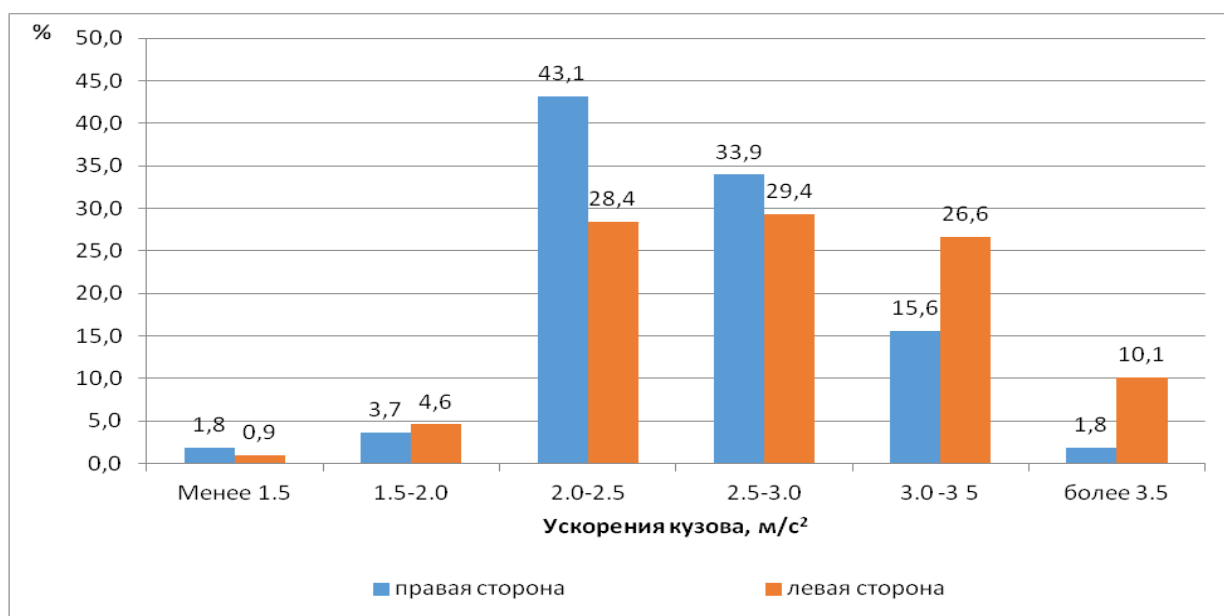


Рисунок 3.11 – Распределение максимальных ускорений кузова по километрам в процентах от общего количества на участке Обозерская – Малошуйка.

Анализ показал, что на участке Обозерская – Малошуйка максимальные ускорения на кузове в пределах от 2 до 3 м/с² отмечены на большинстве километров - около 76% по правой стороне вагона и 58% - по левой. Ускорения на кузове менее 2 м/с² составляют по 5% по правой и левой стороне вагона. На 16% километров по правой стороне вагона и на 27% - по левой ускорения кузова находятся в интервале от 3,0 до 3,5 м/с². Разные данные ускорений полученных по правой и левой стороне вагона объясняются различием технического состояние пружинных комплектов и других элементов ходовых частей, образовавшиеся в результате эксплуатации и технического обслуживания.

Таким образом, на большинстве километров (более 90 %) реализуются максимальные ускорения на кузове вагона, которые согласно ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» могут быть оценены на «хорошо» и «отлично». И только 1,8% максимальных ускорений по правой и на 10% по левой стороне вагона лежат в пределах от 3,5 до 4,0 м/с², что соответствует оценке «удовлетворительно».

Кроме того, были построены распределения минимальных ускорений кузова по километрам в процентах от общего количества (рисунок 3.12).

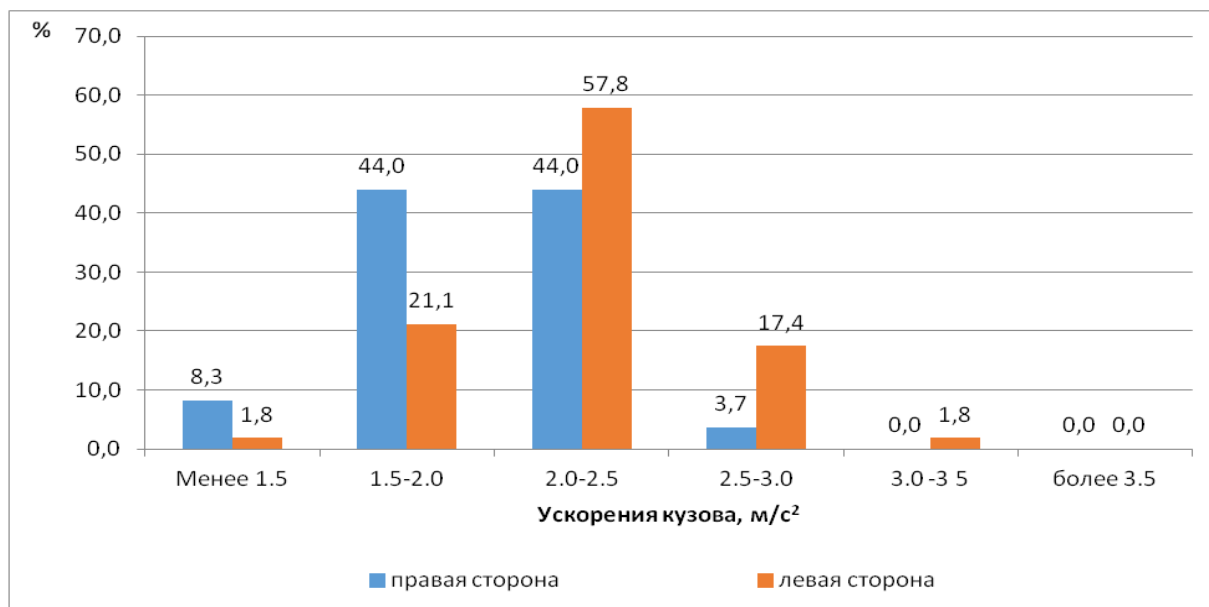


Рисунок 3.12 – Распределение минимальных ускорений кузова по километрам в процентах от общего количества на участке Обозерская – Малошуйка.

Анализ показал, что на участке Обозерская – Малошуйка минимальные ускорения на кузове в пределах от 2 до 3 м/с² отмечены на 48% километров по правой стороне вагона и на 75% по левой. Ускорения на кузове менее 2 м/с² составляют 52% по правой и 23% по левой стороне вагона. На 1,8% километров по правой стороне вагона минимальные ускорения кузова находятся в интервале от 3,0 до 3,5 м/с². Таким образом, на 100 % километров реализуются минимальные ускорения на кузове вагона, которые согласно ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» могут быть оценены на «хорошо» и «отлично».

Распределение СКО ускорений кузова по километрам в процентах от общего количества (рисунок 3.13).

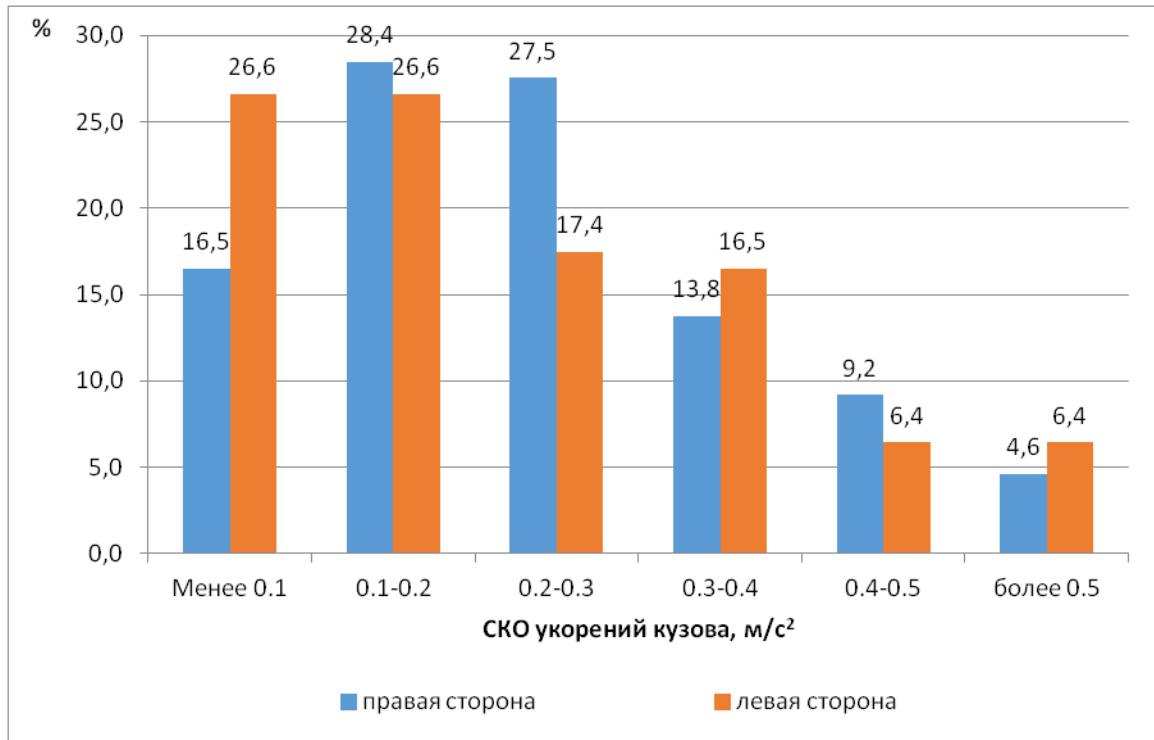


Рисунок 3.13 – Распределение СКО ускорений кузова по километрам в процентах от общего количества на участке Обозерская – Малошуйка.

Анализ полученных значений ускорений показал, что на участке Обозерская – Малошуйка большая часть СКО ускорений на кузове (примерно 88%) лежит в пределах до $0,4 \text{ м/с}^2$. Это свидетельствует о том, что разброс значений ускорений кузова в пределах одного километра небольшой.

Таким образом, километры, находящиеся на участке Обозерская – Малошуйка можно разделить на 3 группы:

- 1 группа – километры, на которых ускорения на кузове менее $2,0 \text{ м/с}^2$;
- 2 группа – километры, на которых ускорения на кузове составляют $2,0 - 3,2 \text{ м/с}^2$;
- 3 группа – более $3,2 \text{ м/с}^2$.

Распределение километров по группам, в зависимости от величины ускорения на кузове, приведено в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Распределение километров по группам в зависимости от величины ускорения на кузове.

№ группы	Км	ЗКпр Вертикальное ускорение на кузове правая сторона 2 вагон, м/с ²				ЗКл Вертикальное ускорение на кузове левая сторона 2 вагон, м/с ²			
		Ср. знач.	СКО	макс	мин	Ср. знач.	СКО	макс	мин
1	333/334	0.80	0.19	1.01	0.60	0.50	0.17	0.68	0.33
	298/299	1.76	0.03	1.82	1.68	1.96	0.15	2.14	1.80
	294/295	1.54	0.05	1.60	1.45	1.88	0.05	1.96	1.82
	295/296	1.83	0.30	2.15	1.49	1.86	0.04	1.92	1.79
	297/298	1.87	0.17	2.05	1.65	1.86	0.17	2.04	1.68
	256/257	1.78	0.23	2.05	1.53	1.89	0.10	2.05	1.77
	245/246	1.59	0.27	1.90	1.31	2.29	0.06	2.38	2.17
	242/243	1.77	0.33	2.20	1.37	1.63	0.23	1.94	1.33
	241/242	1.43	0.03	1.47	1.37	1.83	0.11	1.98	1.71
	242/243	2.04	0.10	2.16	1.91	2.51	0.23	2.86	2.25
	231/232	1.83	0.17	2.03	1.64	1.77	0.08	1.87	1.69
	232/233	1.79	0.20	1.99	1.59	1.96	0.17	2.14	1.78
2	323/324	2.41	0.28	2.76	2.09	2.49	0.04	2.56	2.43
	308/309	2.45	0.36	2.92	2.08	2.55	0.37	2.95	2.10
	311/312	2.51	0.30	2.88	2.15	2.60	0.09	2.71	2.43
	296/297	2.57	0.08	2.69	2.35	2.58	0.17	2.85	2.33
	282/283	2.67	0.26	3.02	2.35	2.29	0.17	2.53	2.06
	264/265	2.58	0.18	2.86	2.33	2.21	0.10	2.33	2.09
	265/266	2.40	0.17	2.62	2.12	2.16	0.05	2.25	2.11
	266/2677	2.40	0.06	2.49	2.27	2.36	0.06	2.45	2.21
	257/258	2.38	0.11	2.54	2.22	2.30	0.07	2.43	2.22
	254/255	2.32	0.06	2.41	2.22	2.61	0.08	2.74	2.49
	229/230	2.39	0.12	2.55	2.21	2.73	0.09	2.88	2.57
	246/247	2.52	0.24	2.83	2.12	2.28	0.07	2.41	2.18
247/248	1.97	0.43	2.48	1.52	2.58	0.21	2.89	2.26	
3.	330/331	2.70	0.19	2.97	2.40	2.79	0.48	3.38	2.31
	324/325	2.88	0.49	3.38	1.19	3.51	0.43	4.10	2.85
	319/320	2.03	0.11	2.15	1.81	2.44	0.51	3.06	1.91
	320/321	2.79	0.27	3.17	2.49	2.99	0.36	3.46	2.43
	319/320	2.72	0.18	2.92	2.42	3.04	0.58	3.75	2.43
	312/313	2.83	0.18	3.09	2.59	3.33	0.14	3.50	3.17
	305/306	2.94	0.63	3.72	2.29	2.80	0.35	3.21	2.34

№ группы	Км	ЗКпр Вертикальное ускорение на кузове правая сторона 2 вагон, м/с ²				ЗКл Вертикальное ускорение на кузове левая сторона 2 вагон, м/с ²			
		Ср. знач.	СКО	макс	мин	Ср. знач.	СКО	макс	мин
	292/293	2.45	0.38	2.84	1.99	3.16	0.28	3.57	2.83
	286/287	2.80	0.38	3.22	2.38	3.01	0.70	3.78	2.31
	273/274	3.22	0.23	3.55	2.78	3.53	0.18	3.77	3.17
	270/271	2.56	0.29	2.89	2.26	3.15	0.79	4.07	2.33

Как видно из таблицы 3.3, опытные участки, на которых проводились ручные промеры, относятся ко 2 группе. Ускорения кузова на этих участках находятся в пределах 2,0-2,9 м/с², что согласно ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» соответствует оценке «хорошо». Таким образом, можно сделать вывод, что хорошее состояние пути на опытных участках по результатам опытных поездок подтверждается показателями динамики, которые были записаны на вагоне.

3.4 Выводы по главе

Результаты поездки опытного состава по участку Обозерская – Малошуйка позволяют сделать следующие выводы:

– на всем участке испытаний перемещения автосцепок на обоих вагонах не превысили нормативного показателя 40 мм. Их значения колебались на участке от 10 до 30 мм. Это свидетельствует о том, что опытный подвижной состав и путь находятся в хорошем состоянии;

– на всем участке испытаний ускорения на кузове не превысили нормативного показателя 0,45g или 4,5 м/с². На большинстве километров (более 99%) средние ускорения на кузове вагона, которые согласно ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам», могут быть оценены на «хорошо» и «отлично». Это согласуется с оценкой состояния пути по комплексной оценке состояния пути (КОСП), а также по данным ПУ-32;

– измеренные на опытных участках, где проводились ручные промеры, ускорения кузова находятся в пределах 2,0-2,9 м/с², что согласно ГОСТ 33211-2014 [38] соответствует оценке «хорошо». Это корреспондируется с результатами ручных промеров, которые проводились до начала опытной поездки, а также с предварительной оценкой состояния пути по комплексной оценке состояния пути (КОСП) и по данным ПУ-32.

Глава 4. Расчет в программном комплексе «Универсальный механизм»

Основной целью расчётов является получение показателей взаимодействия пути и подвижного состава для более широкого круга условий, чем были при проведении эксперимента. Одним из инструментов для решения поставленной задачи является программный комплекс «Универсальный механизм». С помощью данного инструмента проведены расчёты и дана оценка влияния различных параметров неровностей на показатели взаимодействия пути и подвижного состава, а так же разработана их классификация.

Коэффициент динамики в качестве показателя взаимодействия пути и подвижного состава выбран как параметр характеризующий обобщенную реакцию подвижного состава на неровности и их сочетания в различных режимах движения. Исходными данными для проведения расчетов с помощью программного комплекса «Универсальный механизм» являются различные длинные неровности, описанные математическими формулами в соответствии с их параметрами. Для описания геометрии (профиль и план) использовались данные, полученные при промерах мобильными диагностическими комплексами.

4.1 Верификация расчета в программном комплексе «Универсальный механизм»

Для возможности моделирования и применения различных входных данных для произведения расчета в программном комплексе должна быть проведена процедура верификации, то есть подтверждение с помощью предоставления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены. (ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2021) [39].

В данном случае представлением объективного свидетельства будут использованы данные полученные при натурном эксперименте. Эксперимент был

проведен на Малошуйской дистанции пути Северной железной дороги 28 сентября 2021 года.

По результатам проведённого эксперимента были отобраны и сведены в таблицу данные по километрам с максимальными значениями ускорений обрессоренных частей грузового вагона.

Далее был задан доверительный интервал, размер которого составляет не более 20%. При соблюдении условия при котором значения, полученные при расчете в программном комплексе «Универсальный механизм» будут входить в доверительный интервал, можно считать, что модель прошла верификацию и может быть использована для дальнейших расчетов и моделирования.

Следующим шагом были заданы параметры неровностей пути, полученные по данным путеизмерительных вагонов на километрах соответствующих участкам натурных испытаний для расчета в программном комплексе «Универсальный механизм». Полученные результаты при натурных испытаниях и расчетах сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Сравнительная таблица натурных испытаний и расчетов.

№ км	Вертикальные ускорения обрессоренных частей, в долях от ускорения свободного падения измеренные при натурном эксперименте	Коэффициент динамики, полученный в программном комплексе «УМ»
324	0,1	0,09
299	0,17	0,15
295	0,18	0,16
296	0,17	0,17
298	0,18	0,16
257	0,16	0,15
246	0,23	0,2
243	0,2	0,18
242	0,18	0,16

В соответствии с таблицей 14 ГОСТ 33211-2014 [38] полученные при эксперименте значения в долях от ускорения свободного падения соответствуют максимальному коэффициенту динамической добавки обрессоренных частей. Так

же в ГОСТ 33211-2014 [38] дано определение коэффициента динамической добавки как отношения амплитуды вертикальной динамической силы, действующей при движении вагона по рельсовому пути, к силе тяжести, то есть

$$K_{д} = \frac{ma}{mg} \quad (1)$$

где a - ускорение кузова вагона, g - ускорение свободного падения.

Исходя из вышесказанного в дальнейшей работе принято оперирование термином "Кд" - коэффициент динамической добавки.

Как видно из таблицы значения коэффициентов динамики, полученные при расчете в программном комплексе «Универсальный механизм» не выходят за пределы установленного доверительного интервала, и означает, что данная модель верифицирована для производства дальнейших расчетов.

4.2 Допустимые значения динамических качеств

Оценка показателей полученных значений коэффициентов динамики проводилась на основании ГОСТ 33211-2014[38] представленных в таблице.

Таблица 4.2 Уровни оценки и допустимые значения показателей динамических качеств.

Показатель	Уровень оценки	Допустимые значения	
		Для вагона с минимальной расчетной массой	Для вагона с максимальной статической осевой нагрузкой
Максимальный коэффициент динамической добавки обрессоренных частей, не более	Отлично	0,50	0,2
	Хорошо	0,60	0,35
	Удовлетворительно	0,70	0,4
	Допустимый	0,75	0,65

4.3 Математическое моделирование длинных неровностей.

Расчет показателей коэффициента динамики при наличии длинных неровностей

Как показал вышеприведённый анализ, в большинстве случаев имеет место сочетание длинных и коротких неровностей, поэтому в качестве расчётного параметра был выбран Кд - коэффициент динамических добавок, позволяющий оценить реакции подвижного состава на все виды неровностей и их сочетаний в заданном диапазоне.

С учётом характеристик собственных колебаний различных типов подвижного состава и скоростей движения были определены расчётные длины неровностей, способных возникнуть в пути:

- 25 метров под воздействием грузового подвижного состава,
- 45 метров под воздействием скоростных поездов,
- 65 метров под воздействием высокоскоростных поездов.

Амплитуды расчётных неровностей были приняты по результатам эксплуатационных наблюдений. Для расчётов в программном комплексе "Универсальный механизм" были математически систематизированы следующие виды неровностей:

- неровность длиной 25 метров и амплитудой 16 мм (L25; A16),
- неровность длиной 45 метров и амплитудой 30 мм (L45; A30),
- неровность длиной 65 метров и амплитудой 35 мм (L65; A35).

Все расчёты проводились для варианта движения грузовых вагонов.

Неровности задавались периодической функцией,

$$X_i = A \sin \frac{2\pi k i}{N} \quad (1)$$

где k – номер гармонической составляющей

A – составляющая k -ой гармонической составляющей

N – длина выборки

i – порядковый номер моделируемого значения.

Данная формула будет использоваться по всей работе при моделировании единичных периодических неровностей.

Далее в программном комплексе «Универсальный механизм» были введены оставшиеся параметры для расчетов, представленные в таблице 4.4

Таблица 4.4 – Параметры для расчетов

Тип подвижного состава	Грузовой полувагон (груженный)
План	Прямая
Скорость	50 км/ч
Уклон	0‰

Результаты расчета приведены на рисунке 4.1 в виде гистограммы. По вертикальной оси откладывалось значение коэффициента динамики, по горизонтальной оси - параметры неровностей. Параметры неровностей подписаны сокращениями, где L – длина неровности в метрах, A- значение амплитуды неровности в миллиметрах.

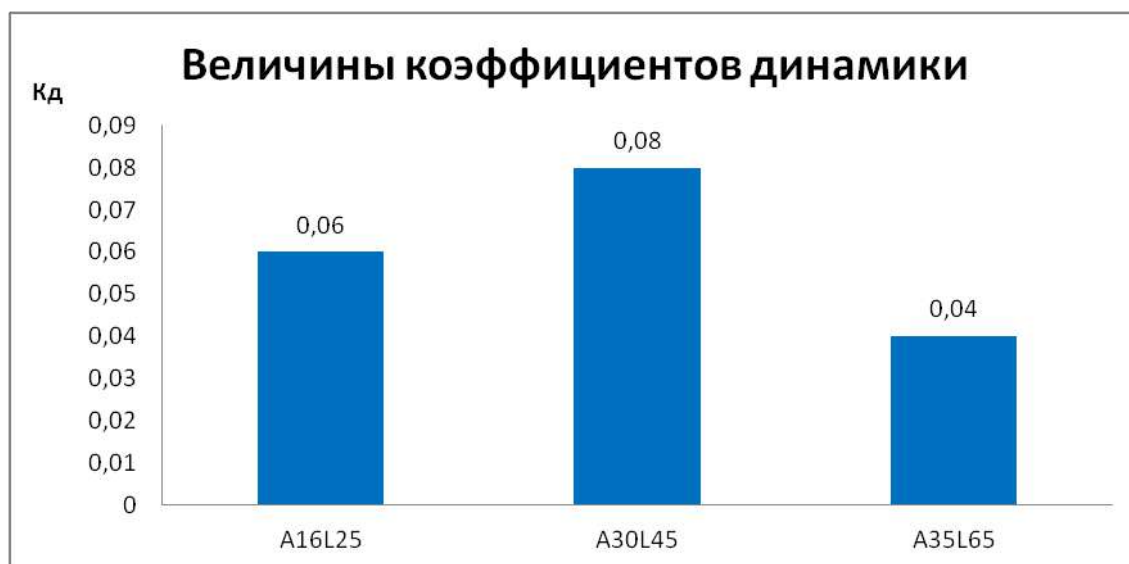


Рисунок 4.1 – Величины коэффициентов динамики при движении по прямой с наличием только длинных неровностей.

Полученные максимальные значения коэффициента динамики соответствует 0,08 и по уровню допустимого значения соответствует оценке

«отлично». Из этого следует, что на всех смоделированных длинных неровностях Кд не превышают допустимого значения и соответствуют уровню оценки «отлично».

На следующем этапе расчётов по формуле (1) были смоделированы короткие неровности с параметрами в соответствии с инструкции 436р [5], в которой определено, что просадки оцениваются на длине от 6 до 10 метров. Параметры приняты в границах второй степени для скорости 50 км/ч :

- 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)

Остальные расчётные параметры применены как и для длинных неровностей в соответствии с таблицей 4.4. Результаты расчётов представлены на рисунке 4.2



Рисунок 4.2 – Величины коэффициентов динамики при движении по прямой с наличием только коротких неровностей.

Как следует из представленного графика, значение коэффициента динамики на короткой неровности, параметры которой соответствуют просадке третьей степени близкой к четвертой - составила 0,27, что по уровню допустимого значения соответствует оценке «хорошо». Неровности с амплитудой 15 мм и

длиной 10 метров и амплитудой 20 мм и длиной 10 метров, соответственно просадка второй степени и просадка второй степени на границе с третьей по уровню значения не превышают допустимого значения 0,2 и соответствуют уровню оценки «отлично».

4.4 Расчет показателей коэффициента динамики при наличии сочетания длинных и коротких неровностей. Математическое моделирование сочетания длинных и коротких неровностей

Исследования, результаты которых представлены в главе 2 указывают на то, что на участках с длинными профильными неровностями, как правило, имеются и короткие в виде просадок и перекосов. Для оценки влияния сочетания вышеуказанных неровностей на показатели взаимодействия пути, произведён расчет коэффициента динамики при условии сочетания длинных и коротких неровностей в профиле.

Математически смоделированы неровности периодической формулой:

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

где k – номер гармонической составляющей

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

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

N – длина выборки

i – порядковый номер моделируемого значения.

Данная формула использовалась во всех последующих расчётах при моделировании периодических сочетаний коротких и длинных неровностей. В ходе расчетов в программном комплексе «Универсальный механизм» при моделировании сочетания учитывалось наличие трех и более периодических

коротких неровности подряд, в пределах длины смоделированной длинной профильной неровности. 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.

Для математического моделирования сочетания коротких и длинных неровностей все отступления в профиле были разделены на три группы, отличающиеся по протяжённости длиной профильной неровности.

Группа 1

– длинная неровность длиной 25 метров и амплитудой 16 мм (L25A16) + короткая неровность длиной 10 метров и амплитудой 15 мм (L10A15)

– длинная неровность длиной 25 метров и амплитудой 16 мм (L25A16) + короткая неровность длиной 10 метров и амплитудой 20 мм (L10A20)

– длинная неровность длиной 25 метров и амплитудой 16 мм (L25A16) + короткая неровность длиной 10 метров и амплитудой 23 мм (L10A23)

Группа 2

– длинная неровность длиной 45 метров и амплитудой 30 мм (L45A30) + короткая неровность длиной 10 метров и амплитудой 15 мм (L10A15)

– длинная неровность длиной 45 метров и амплитудой 30 мм (L45A30) + короткая неровность длиной 10 метров и амплитудой 20 мм (L10A20)

– длинная неровность длиной 45 метров и амплитудой 30 мм (L45A30) + короткая неровность длиной 10 метров и амплитудой 23 мм (L10A23)

Группа 3

– длинная неровность длиной 65 метров и амплитудой 35 мм (L65A35) + короткая неровность длиной 10 метров и амплитудой 15 мм (L10A15)

– длинная неровность длиной 65 метров и амплитудой 35 мм (L65A35) + короткая неровность длиной 10 метров и амплитудой 20 мм (L10A20)

– длинная неровность длиной 65 метров и амплитудой 35 мм (L65A35) + короткая неровность длиной 10 метров и амплитудой 23 мм (L10A23)

Для расчёта коэффициента динамической добавки при сочетании коротких и длинных неровностей в кривой в режиме тяги в программный комплекс «Универсальный механизм» были введены условные технические и эксплуатационные параметры.

Таблица 4.5 – Параметры для расчетов в программном комплексе «УМ»

Тип подвижного состава	Грузовой полувагон (груженный)
План пути	R=533м
Непогашенное ускорение	-0,3 м/с ²
Скорость	50 км/ч
Силовая составляющая режима тяги	800кН
Максимальный уклон	+9‰

Результаты расчетов коэффициентов динамики девяти различных сочетаний коротких и длинных профильных неровностей, с учётом параметров таблицы 4.5 представлены на рисунке 4.3.

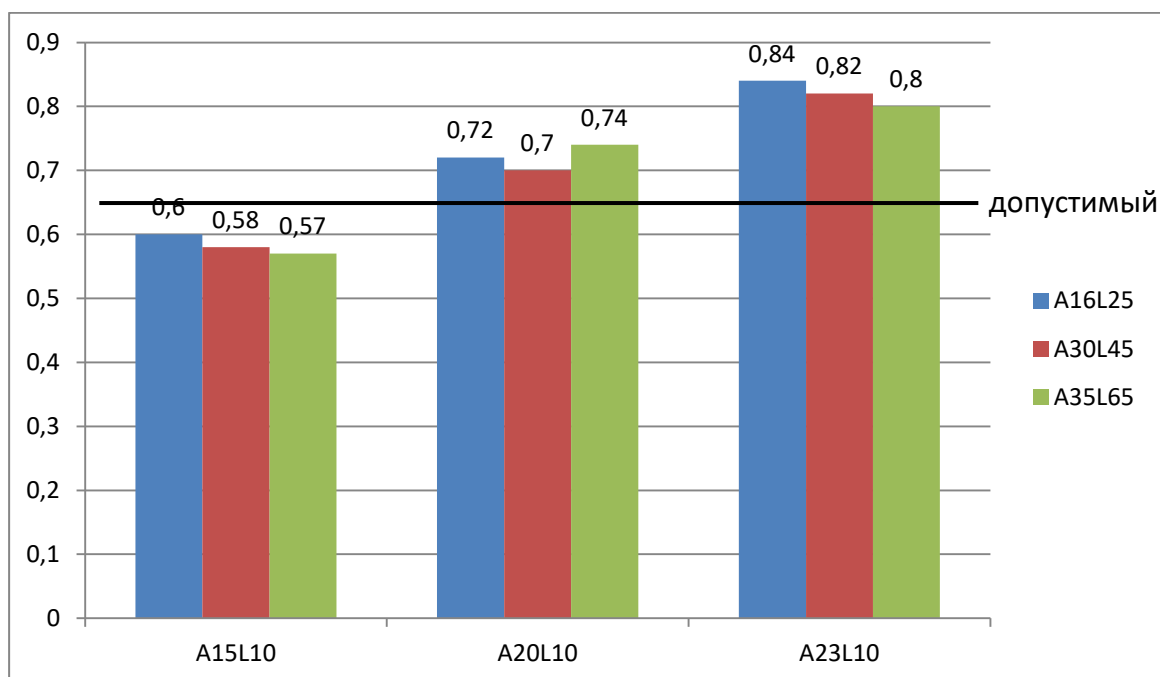


Рисунок 4.3 – Результаты расчета коэффициента динамики при сочетании длинных и коротких неровностей в кривой в режиме тяги.

Под диаграммой указаны параметры длинных и коротких неровностей, обозначенные соответствующим им цветом, а также «допустимый» уровень коэффициента динамики для гружёного вагона (в таблице 4.2).

Полученные результаты свидетельствуют о кратном увеличении коэффициента динамической добавки при сочетании длинных и коротких неровностей. Причём если при наложении просадок второй степени величины коэффициента динамики все еще входят в уровень оценки «допустимый», то при наложении просадок с амплитудой пограничной третьей степени и третьей степени близкой к четвертой все параметры моделируемых неровностей показывают значения коэффициентов динамики выше уровня оценки «допустимый».

Для расчёта коэффициента динамической добавки при сочетании коротких и длинных неровностей в кривой в режиме рекуперативного торможения были приняты технические и эксплуатационные параметры представленные в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Параметры для расчетов сочетаний в условиях рекуперативного торможения.

Тип подвижного состава	Грузовой полувагон (груженный)
План пути	R=533 м
Непогашенное ускорение	-0,3 м/с ²
Скорость	50 км/ч
Силовая составляющая торможения	800кН
Максимальный уклон	-11‰

Произведённые расчеты коэффициентов динамики в девяти различных сочетаниях коротких и длинных профильных неровностей представлены на рисунке 4.4.

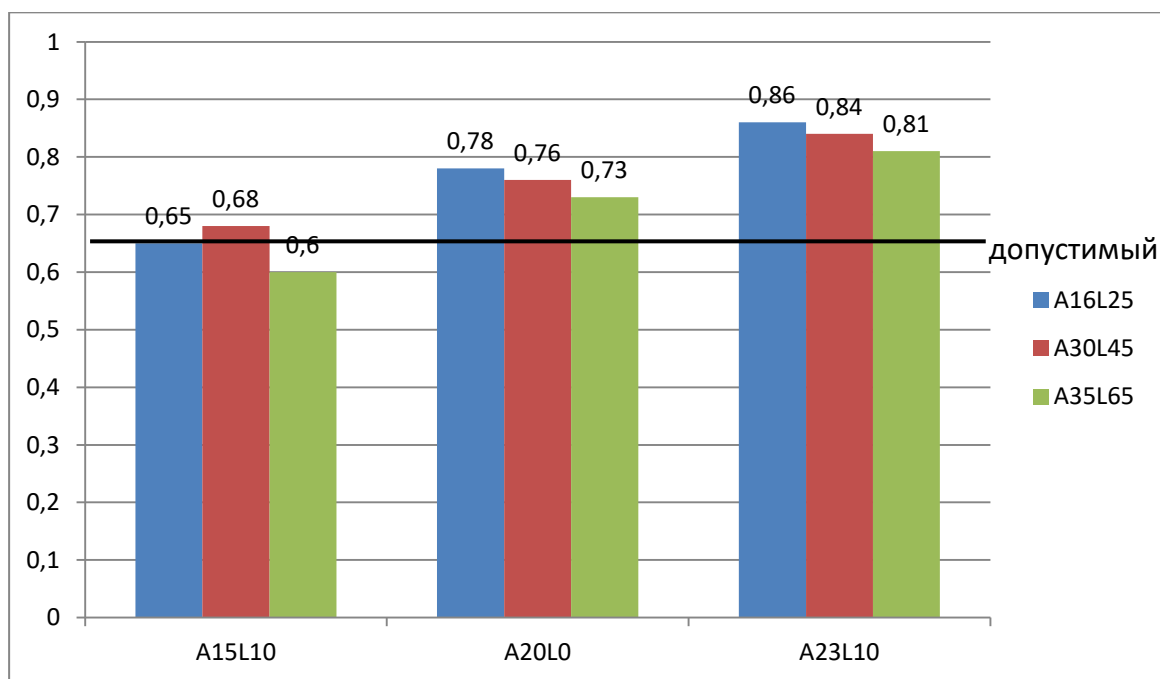


Рисунок 4.4 – Результаты расчета коэффициента динамики при сочетании длинных и коротких неровностей в кривой при рекуперативном торможении.

Величина коэффициента динамики при моделировании длинной неровности с параметрами амплитуды 35 мм и длины 65 метров, при соединении с короткой неровностью, соответствующей просадке второй степени, не превысила уровня оценки «допустимый». При этом величина коэффициента динамики при моделировании длинной неровности с параметрами амплитуды 16 мм и длины 25 метров и при соединении с короткой неровностью, соответствующей просадке второй степени, находится на границе уровня оценки «допустимый». Оставшиеся варианты неровностей при соединении длинных неровностей и коротких в купе с силовым параметром (рекуперативное торможение до 800 кН) превысили уровень оценки «допустимый».

Для более точного определения зависимостей значений коэффициента динамики (Кд) от плана пути, наличия длинных профильных неровностей, коротких неровностей и эксплуатационных составляющих тягового подвижного состава были рассчитаны коэффициенты динамической добавки в различных вариантах.

На рисунке 4.5 представлены результаты расчётов Кд без силового параметра (синий цвет), с силовым параметром соответствующим режиму тяги до 800 кН (красный цвет), с силовым параметром соответствующим режиму рекуперативного торможения до 800 кН (зелёный цвет) при движении в прямом участке пути:

- с короткой неровностью амплитудой 20 мм на длине 10 м,
- с длинной неровностью амплитудой 60 мм и длиной 50 м;
- при сочетании длинной неровности амплитудой 60 мм и длиной 50 м с короткой неровностью амплитудой 20 мм на длине 10 м;
- при сочетании длинной неровности амплитудой 60 мм и длиной 50 м с короткой неровностью амплитудой 25 мм на длине 10 м

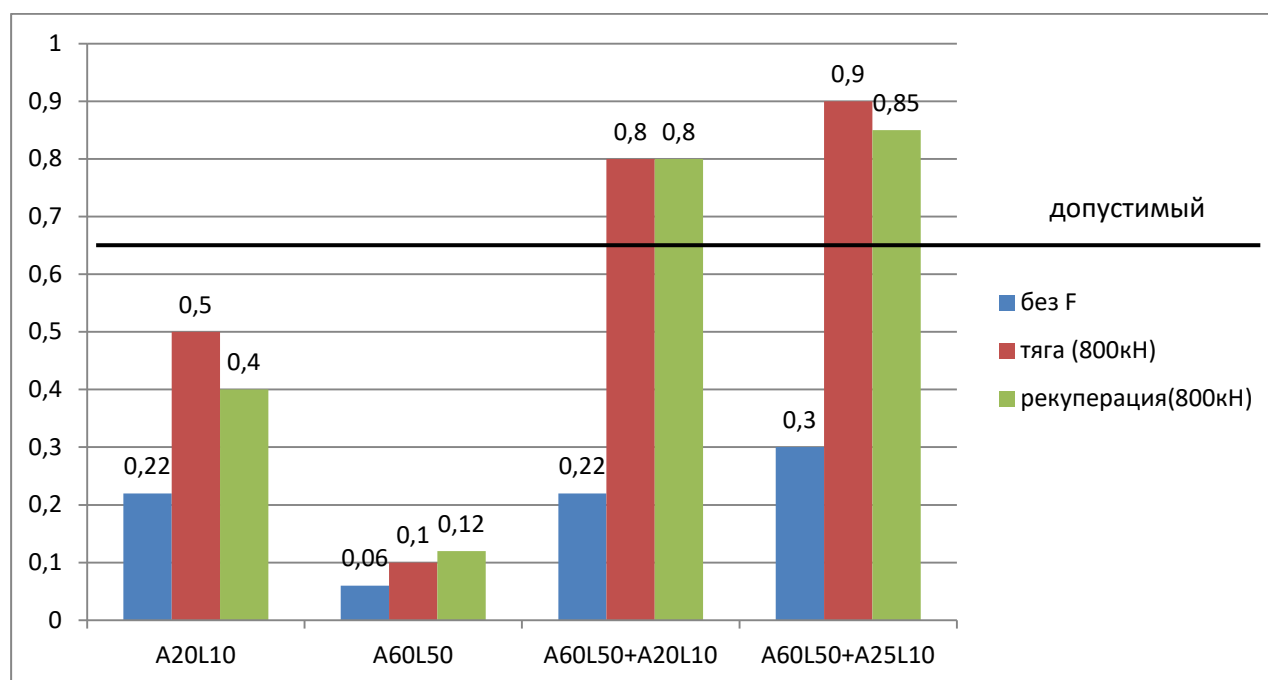


Рисунок 4.5 – Величины коэффициента динамики при движении по прямой.

На рисунке 4.6 представлены рассчитанные коэффициенты динамики с теми же силовыми параметрами и неровностями только при движении в кривом участке пути, характеристики которого заданы в таблице 4.6

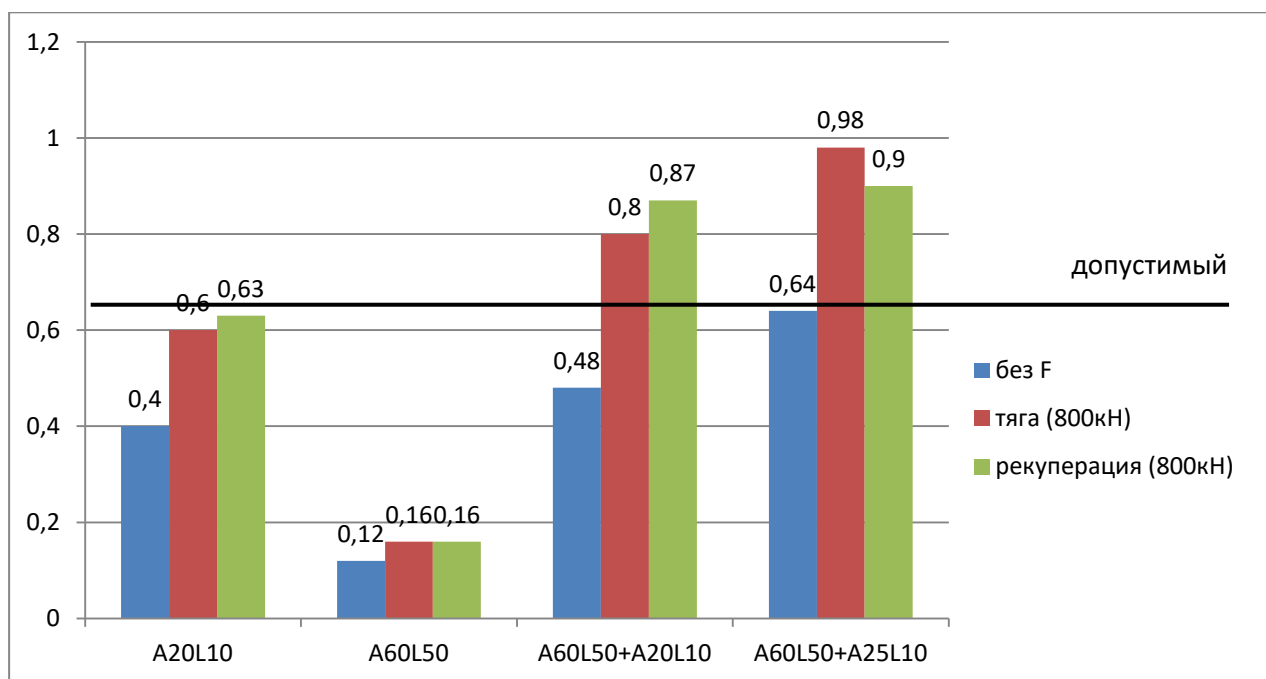


Рисунок 4.6 – Величины коэффициента динамики при движении в кривой.

Сводные результаты расчеты коэффициента динамики в трех режимах движения (без тяги/торможения, с тягой, в режиме торможения), а также в трех вариантах задания неровностей (короткие неровности, длинные неровности, сочетание длинных и коротких неровностей) при движении в прямом участке пути и в кривой представлены в таблице 4.7

Таблица 4.7 – Сводные результаты расчеты коэффициента динамики.

№ п/п	Параметры неровности	Без тяги/торможения		Тяга		Торможение	
		прямая	R -533	прямая	R -533	прямая	R -533
<i>Короткие неровности</i>							
1	A20 L10	0,22	0,4	0,5	0,6	0,4	0,63
2	A25 L10	0,3	0,5	0,65	0,72	0,6	0,75
<i>Длинные неровности</i>							
3	A60 L50	0,6	0,12	0,1	0,16	0,12	0,16
<i>Сочетание длинных и коротких неровностей</i>							
4	A60L50+A20L10	0,22	0,48	0,8	0,8	0,8	0,87
5	A60L50+A25L20	0,3	0,64	0,9	0,98	0,85	0,9

4.5 Выводы по главе

1. Показатели динамики при наличии длинных периодических неровностей не превышают уровень оценки «отлично», что указывает на отсутствие необходимости принятия каких-либо срочных мер.

2. Показатели динамики при наличии коротких периодических неровностей (L10A15, L10A20) входят в уровни оценки «отлично», а просадка третьей степени близкой к четвертой степени (L10A23) в уровень оценки «хорошо», что так же не требует срочных мер.

3. Величина коэффициента динамики при сочетании длинных профильных неровностей и коротких неровностей (просадок) с амплитудой пограничной третьей степени и третьей степени близкой к четвертой в сочетании с силовым параметром от тягового подвижного состава независимо от плана пути превосходит уровень оценки «допустимый». Это указывает на необходимость учёта показателей динамики, при регламентировании сроков выполнения работ по устранению неисправностей на пути.

Глава 5. Система технического обслуживания пути при наличии длинных неровностей продольного профиля на участках максимальной тяги и электродинамического торможения

На основании выполненных исследований приведённых в главе № 2 и аналитики состояния железнодорожного пути в части наличия длинных профильных неровностей установлено, что, как правило, имеет место сочетание длинных и коротких неровностей (просадки, перекосы). Согласно полученных данных количество коротких неровностей составляет от 8шт. до 22 шт. на 1 километр пути с длинными неровностями в зависимости от плана и профиля участка, а также его грузонапряжённости. Причём установлена зависимость количества коротких неровностей от протяженности профильной неровности и от грузонапряжённости пути.

Сделаны выводы о том, что показатели коэффициента динамики при наличии длинных периодических неровностей не превышают уровень оценки «отлично», равно как и при наличии коротких периодических неровностей второй степени. При наличии коротких неровностей (просадок) третьей степени, близкой к четвертой степени уровень оценки Кд находится в пределах оценки «хорошо» что указывает на отсутствие необходимости принятия каких-либо срочных мер по выправке пути.

Так же выводы, сделанные на основании расчётов коэффициента динамической добавки (Кд) в главе № 4 говорят о том, что величина коэффициента динамики при сочетании длинных профильных неровностей и коротких неровностей в сочетании с силовым параметром от тягового подвижного состава независимо от плана пути превосходит уровень оценки «допустимый». И что необходимо учитывать показатели динамики, при регламентировании сроков выполнения работ по устранению неисправностей на пути.

Вышесказанное позволяет принять, что для обеспечения допустимого уровня коэффициента динамики гружёного вагона в соответствии с ГОСТ 33211-2014 [38] существует три варианта решения :

1. устранить длинную профильную неровность;
2. устранить короткую профильную неровность (просадку, перекося);
3. устранить влияние силовой составляющей (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, силовая составляющая не может быть переменной. Следовательно, область воздействия на результат «коэффициента динамики» определяется устранением длинной профильной неровности пути или короткой.

5.1 Обзор применяемых технологий и инструментов

В настоящее время в соответствии с правилами организации производственной деятельности для работников путевого комплекса разработаны карты технологических процессов (далее КТП) на все выполняемые работы. Несмотря на многообразие работ проводимых по содержанию верхнего строения пути, земляного полотна и других обустройств находящихся в полосе отвода, работы по выправке пути, такие как устранение просадок, перекося, отклонений по уровню, восстановлению равноупругости подшпального основания составляют более 50% от общих трудозатрат. Для технологического обеспечения этих работ также разработаны соответствующие КТП. С точки зрения технической сложности, трудоёмкости и «инструментоёмкости» вариативность технологических процессов достаточно широка. Имеются технологии выправки с применением ручного инструмента, средств малой механизации — электрошпалоподбоек, домкратов различных модификаций, рихтовщиков, передвижных электростанций и т.д.. Во всех рассматриваемых технологических

процессах предусматривается предварительная геодезическая съёмка с помощью прибора оптической рихтовки пути (ПРП), нивелира и прочих подобных измерительных инструментов. Кроме перечисленных «ручных» технологий выправки пути существуют более десяти технологических процессов постановки пути в заданные или проектные параметры с применением путевых машин тяжёлого типа. Начиная от выправочно-подбивочно-рихтовочной машины ВПР (КТП № к890 ц-17) [50] и выправочно-подбивочно-отделочной машины ВПО (КТП №кх923ц-17) [51] и заканчивая высокопроизводительными машинами Дуоматик 09-32 CSM и Дуоматик 3X (КТП № 60002521) [52].

Кроме карт технологических процессов по устранению отступлений от основных геометрических параметров (п 5.1. №436/р) на ряде структурных предприятий и дирекций разработаны отдельные регламенты по ранжированию профильных неровностей, определению очередности выполнения работ, расчёту необходимых материалов верхнего строения пути, трудозатрат и т.д. Регламенты создавались для решения задачи по устранению длинных неровностей продольного профиля, вызванных неравномерной деформацией земляного полотна. Наиболее полно вопросы устранения вышеназванных неровностей были отражены в регламенте Дирекции инфраструктуры Северной железной дороги. В данном регламенте были подробно расписаны два способа выполнения работ: подъёмка (выправка) длинных просадок ручным либо механизированным способом и срезка «бугров» машинами с «баровыми» устройствами для очистки балластного слоя. Под определением «бугров» подразумевался короткий фрагмент профиля между двумя образовавшимися длинными просадками.

Устранение длинных неровностей описываемыми способами проводится после определения причин накопленных деформаций и оценке состояния земляного полотна. При определении необходимости производства работ по усилению земляного полотна, что происходит, как правило, на участках расположенных на вечно-мёрзлых грунтах, либо на участках со слабым основанием, выбирается наименее затратный способ. Там где необходимость ремонта не является актуальной – выбирается метод позволяющий восстановить

проектный профиль. Любая из технологий по устранению длинных профильных неровностей предусматривает выполнение работ в четыре этапа:

1. выявление и определение границ участков профильных просадок;
2. разработка мероприятий по устранению профильных просадок;
3. выполнение мероприятий по устранению профильных просадок;
4. определение параметров и диагностика объектов после выполнения работ.

Выявление и определение границ участков профильных просадок

Определение участков с профильными просадками выполняется по результатам проходов мобильных средств диагностики (далее МСД). В настоящий момент используются диагностические комплексы инфраструктуры (далее ДКИ), вагоны-путеизмерители КВЛП «сотой» серии и выше оборудованные ГНСС, вагоны путеобследовательских станций ЦНИИ-4 (далее ВПС ЦНИИ-4) или путем вычисления алгебраической разности смежных уклонов элементов продольного профиля в соответствии с СП 119.1330.2017. после геодезической съёмки пути.

Для формирования плана работ проводится анализ коротких и длинных неровностей профиля. Соответственно при анализе резких изменений уклона определяются места, где приращения уклона продольного профиля на отрезке пути длиной до 25 м. превышают норматив, установленный в СП 237.1326000.2015 , при анализе длинных неровностей определяют места с приращением уклона на длине от 25 м. до 200 м.

Результатом обработки информации по результатам проходов путеизмерительных вагонов является формирование и предоставление на сервер центра диагностики следующих ведомостей и выходных форм:

- 1) Ведомость максимальных изменений уклона - таблица 5.1.

2) Размеченный продольный профиль с отметками мест максимальных изменений уклона для коротких неровностей - рисунок 5.1, для длинных неровностей – рисунок 5.2.

Таблица 5.1 – Ведомость максимальных изменений уклона

№ п/п	Направление: 11741(Чум-Лабьтнанги), проезд 15.07.2016							
	км	м	Разность уклонов ‰	V _{пз} , км/ч	Величина просадки	Величина бугра, см	Длина просадки бугра, М	Данные ПЧ, ЦНИИ
1	6	930	10	60	12		59	ЦНИИ
2	7	170	7	60	7		60	ЦНИИ
3	7	268	11	60		8	57	ЦНИИ
4	7	432	10	60		10	55	ЦНИИ
5	7	506	9	60	9		70	ЦНИИ
6	7	570	8	60		14	73	ЦНИИ
7	8	507	9	60	13		65	ЦНИИ
8	8	917	10	60	18		79	ЦНИИ
9	8	948	11	60		19	74	ЦНИИ
10	8	997	8	60	19		98	ЦНИИ
11	9	49	11	60		22	87	ЦНИИ
12	9	77	10	60	15		59	ЦНИИ
13	9	373	9	60	11		50	ЦНИИ
14	9	529	7	60	9		50	ЦНИИ

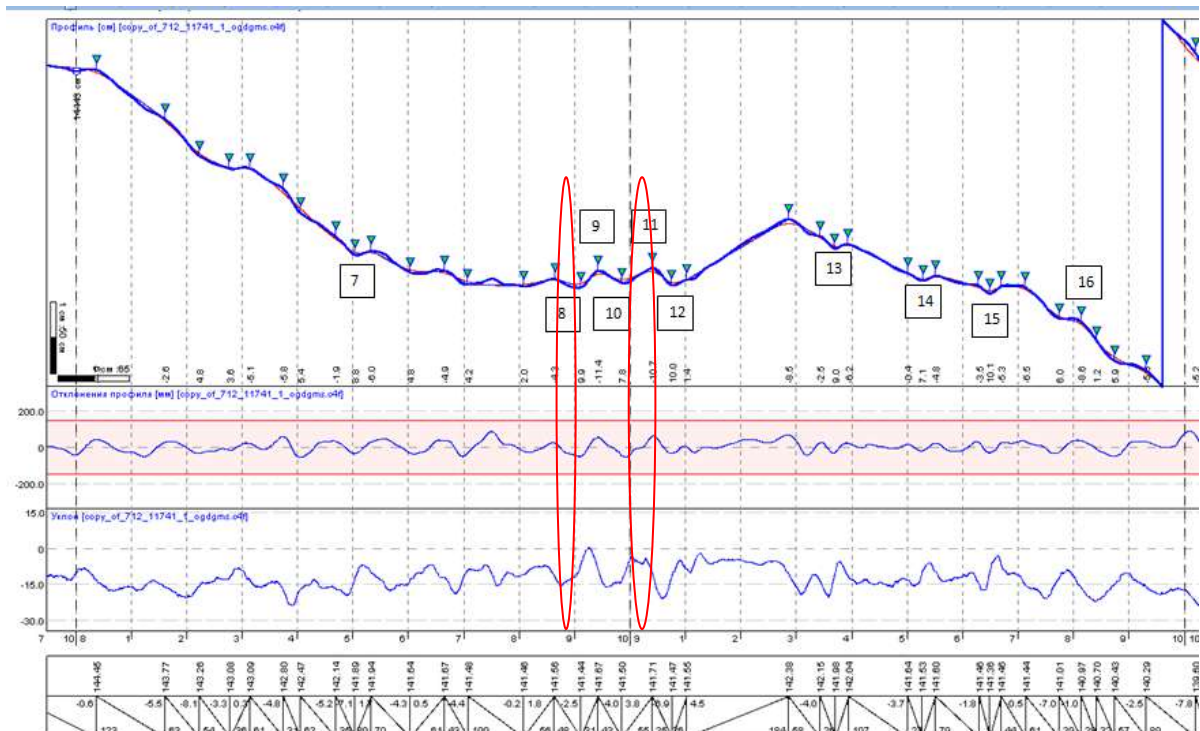


Рисунок 5.1 – Размеченный продольный профиль ЦНИИ-4 участка Чум-Лабьтнанги.

По окончании обработки результатов прохода руководитель смены путеизмерительного вагона сообщает ПЧ, П, РЦДМ об обработке файлов проездов с указанием месторасположения на сервере.

Получив результаты прохода, руководитель дистанции пути планирует работы по выправке длинных профильных неровностей с использованием путевых машин тяжёлого типа, «коротких» длиной до 25 метров – с применением ручного механизированного инструмента, а также определяет способ проведения работ. План работ по выправке длинных неровностей защищается в службе пути в общем пакете работ по текущему содержанию пути на предстоящий год.

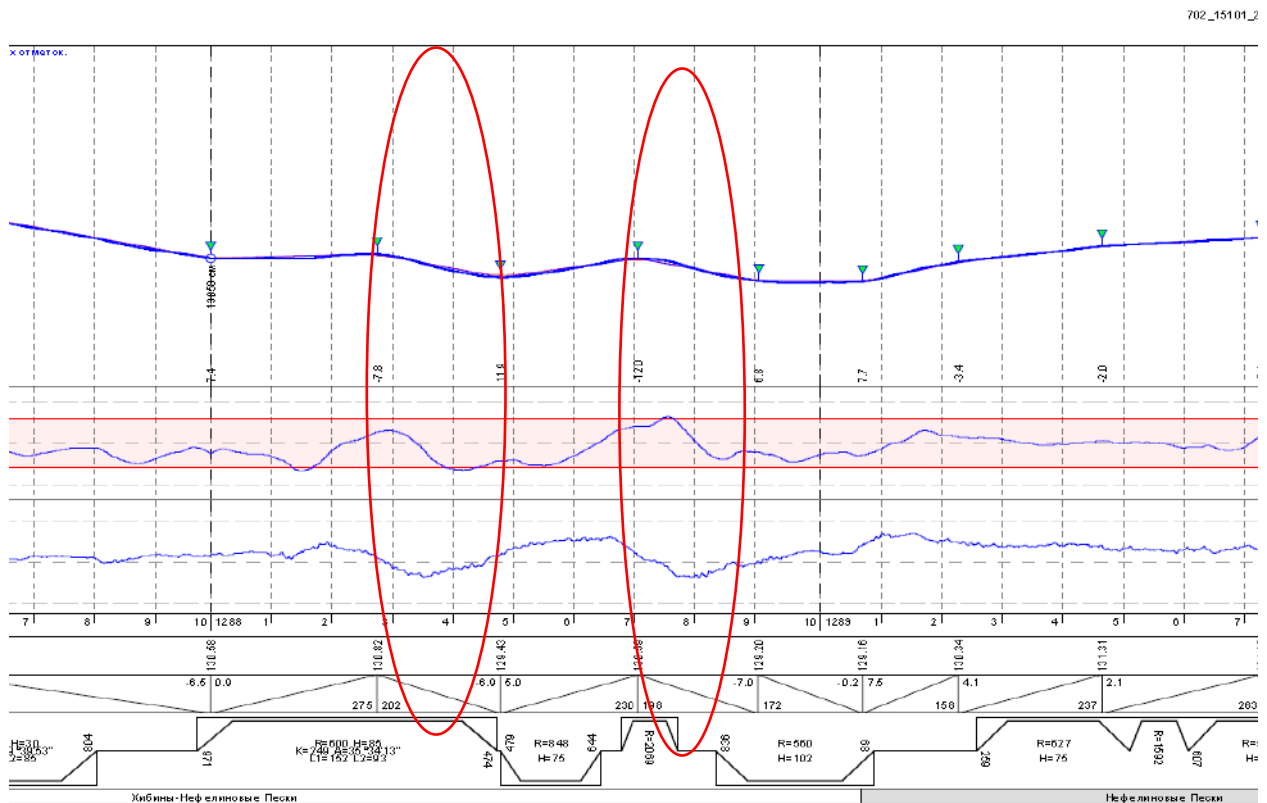


Рисунок 5.2 – Длинные неровности на продольном профиле ЦНИИ-4 участка С.Петербург- Мурманск.

Разработка мероприятий по устранению профильных неровностей

На подготовительном этапе анализируется состояние пути, шпал скреплений, наличие регулировочных прокладок, производится разбивка и

нивелировка профильной просадки с применением геодезических приборов. Определяется величина максимальной подъемки в низшей точке просадки или срезки в верхней точке «бугра». На рельсах наносятся отметки мелом либо белой краской мест начала и конца профильной просадки (бугра), координаты точки с максимальной подъемкой (срезкой).

Для более точного определения требуемого объема работ нивелировку участка следует выполнять через каждые 5 метров. Границы нивелировки следует принимать с запасом не менее 50 метров в обе стороны от выявленных мобильным путеизмерительным средством границ просадок.

Также определяются очертания земляного полотна ширина обочин, высота насыпи, толщина балласта, высота подвески контактного провода (на электрифицированных участках).

На основании полученных данных производится расчет по определению объемов досыпки балласта или его срезки.

Минимальная ширина обочин земляного полотна по верху должна быть не менее 0,5 м на путях 1-3 классов и не менее 0,4 м на путях 4-5 классов. В кривых участках пути ширина земляного полотна должна быть увеличена в соответствии с данными таблицы 5.2.

Таблица 5.2 Нормы ширины обочины земляного полотна.

Радиусы кривых, м	Уширение земляного полотна, м
3000 и более	0,20
2500 до 1800	0,30
1500 до 700	0,40
600 и менее	0,50

Если величина обочин земляного полотна меньше нормативного значения, что создает ограничения по величине подъемки пути, то заблаговременно должна производиться работа по уширению основной площадки с помощью отсыпки из дренирующих грунтов (песок, песчанно-гравийные смеси). При отсутствии обочины земляного полотна выправка профильных просадок методом

«подъёмки» до проведения мероприятий по уширению основной площадки земляного полотна недопустима.

Срезку допускается производить на вершинах «бугров» в случае, когда толщина балластной призмы превышает нормативную на 30 см. и более. Срезку балласта выполняют до достижения нормативной толщины балластной призмы. На электрифицированных участках должны быть соблюдены нормы высоты подвески контактного провода (на перегонах не ниже 5750мм, не выше 6800мм над уровнем головки рельса).

Расчет потребности объемов досыпки балласта

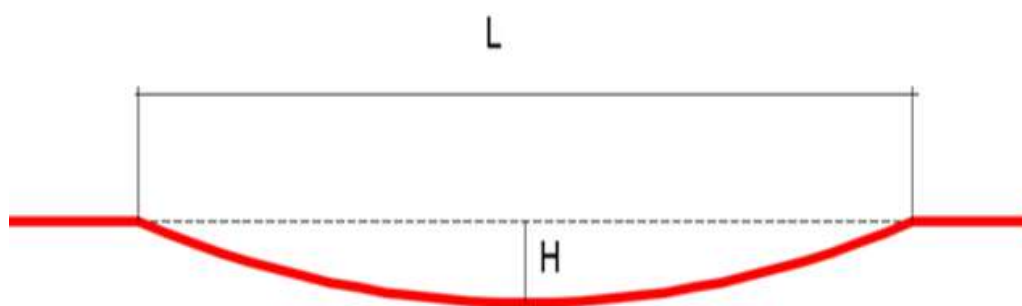


Рисунок 5.3 – Схема профильной просадки балластной призмы.

Расчет потребности объемов досыпки балласта на участке выполняется по формуле:

$$V = \frac{1}{2} L (S_{\text{проект}} - S_{\text{сущ}}) \times 1,25$$

где L- длина участка выправки; 1,25- коэффициент уплотнения щебня; $S_{\text{проект}}$ и $S_{\text{сущ}}$ – проектная и существующая площади поперечного сечения балластной призмы, определяются на «вершине» профильной просадки, в её наибольшем значении, представленном на рисунке 5.3, по формуле определения площади трапеции, где соответственно

$$S_{\text{сущ}} = (a+b)/2 \times h - \text{площадь существующей,}$$

$$S_{\text{проект}} = (A+B)/2 \times H - \text{площадь проектной балластной призмы (рисунок 4)}$$

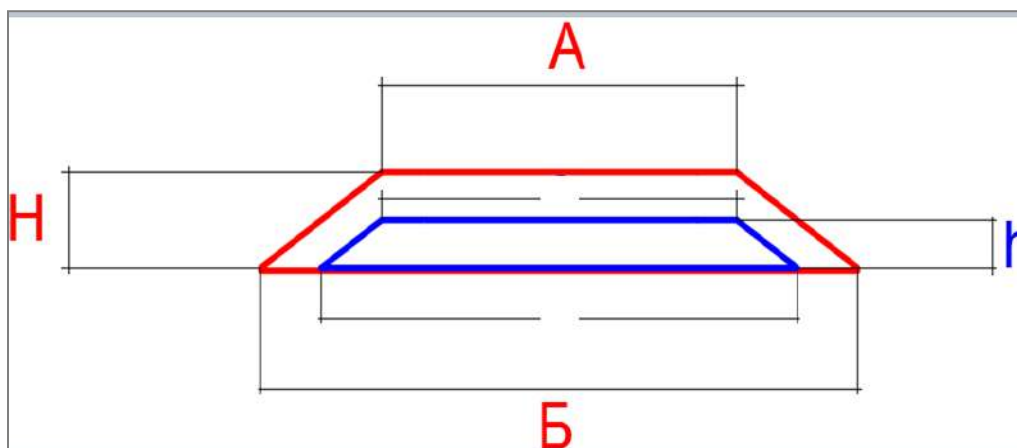


Рисунок 5.4 – Расчет площади поперечных сечений балластной призмы.

Расчет потребности объемов досыпки земляного полотна

Объем досыпки откоса и обочины (рисунок 5.4) рассчитывается произведением высоты откоса насыпи (для насыпей высотой до 6 метров $1,5H$) на ширину досыпаемой обочины $-Ш_{об.}$ и длину участка досыпки $-L$.

Полученный объем ПГС необходимо умножить на коэффициент 1,19 (коэффициент уплотнения и потери при перевозке).

$$A = 1,5H \times Ш_{об.} \times L \times 1,19$$

Определив границы и характеристики участка выправки и объем необходимых материалов, перечень потребных работ и машин составляется календарный план выполнения работ, осуществляется доставка потребных материалов, машин и механизмов.

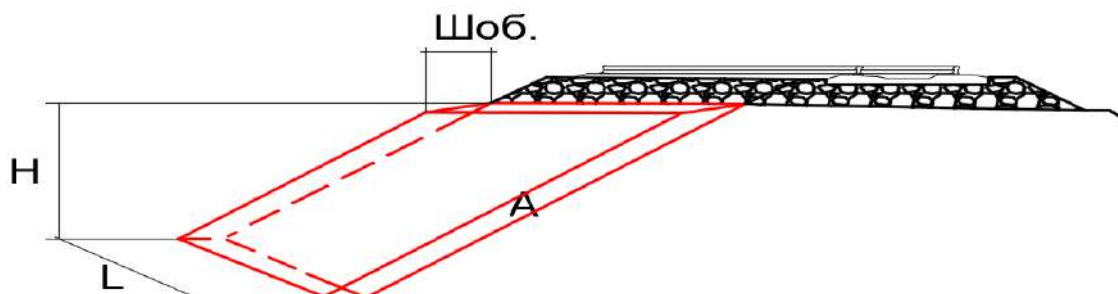


Рисунок 5.5 – Расчет площади поперечных сечений и объема досыпки обочин и откоса.

Выполнение мероприятий по устранению профильных просадок

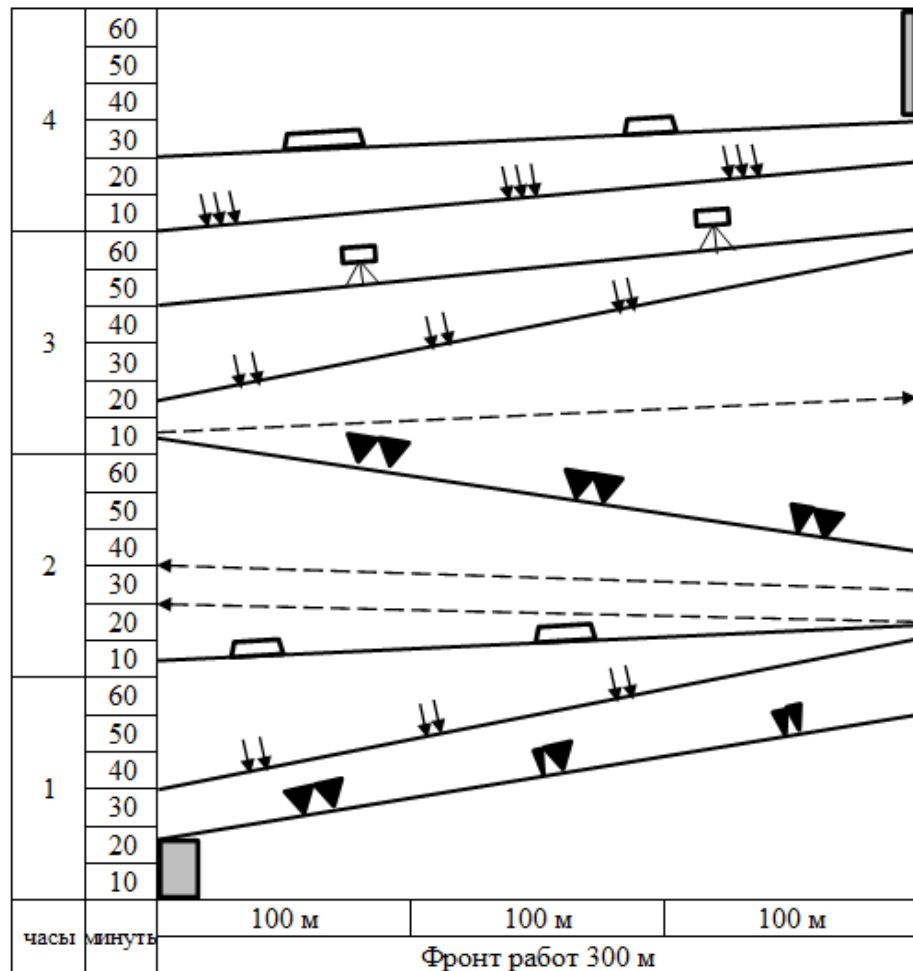
Устранение профильных просадок методом подъёмки (выправки) на балласте. Все работы по выправке профильных просадок выполняются в «окно». Продолжительность «окна» составляет не более 4-х часов в зависимости от местных условий (величины подъёмки, удаленности участка производства работ от станции отправления путевой техники).

На перегон отправляется следующая техника: ХДВ в количестве необходимом для выправки, выправочная циклическая машина (ВПП, ВППС или др. аналоги), машина РПБ (РБ), ДСП (СПП). Из состава ХДВ производится выгрузка щебня на участке выправки пути, при этом не допускается выгрузка щебня на границах просадок или вершинах «бугров», величина уровня выгрузки выполняется на уровень «-5». Следом на «фронт работы» заезжает выправочная циклическая машина (ВПП, ВППС или др. аналоги) и производит выправку пути в штатном режиме. В случае если величина потребной подъёмки пути больше чем величина подъёмки, реализуемая выправочной машиной, выправка производится на максимально возможную величину подъёмки пути с учетом выгруженного щебня, при этом не допускается работа выправочной машины на вершинах «бугров».

Далее на фронт работы заезжает машина РПБ (РБ) и производит перераспределение балласта с обочины балластной призмы внутрь колеи и на концы шпал, при возможности производится выгрузка щебня из бункера-накопителя машины РПБ, в том числе ранее собранного с других участков. В случае недостаточного уровня подъёмки производится повторная досыпка щебня из ХДВ и повторяется работа по выправке пути выправочной машиной. Величина фактической подъёмки пути контролируется нивелиром, тахеометром, по заранее установленным вешкам на обочине пути.

По окончанию выправки производится стабилизация пути машиной ДСП (СПП). После стабилизации пути машина РПБ (РБ) производит перераспределение балласта с обочины земляного полотна и балластной призмы на концы шпал и внутрь колеи, производит отделку балластной призмы. По

завершению работ путевые машины приводятся в транспортное положение и отправляются с перегона, согласно заявки руководителя работ. График производства работ по выправке профильной просадки выправочной циклической машиной представлен на рисунке 5.6



Условные обозначения

- Оформление закрытия (открытия) перегона, прогон машин к месту работ и обратно
- Выгрузка щебня из ХДВ
- Выправка пути машиной ВПР (Унимат)
- Перераспределение и планировка балласта РПБ
- Нивелировка, контроль по уровню
- Стабилизация пути ДСП
- Осаживание ВПР, ХДВ, РПБ

Рисунок 5.6 – График производства работ по выправке профильной просадки машиной ВПР

Результаты проведенных 17 июля 2022 года работ методом выправки на участке Чум-Лабытнанги приведены на рисунке 5.7.

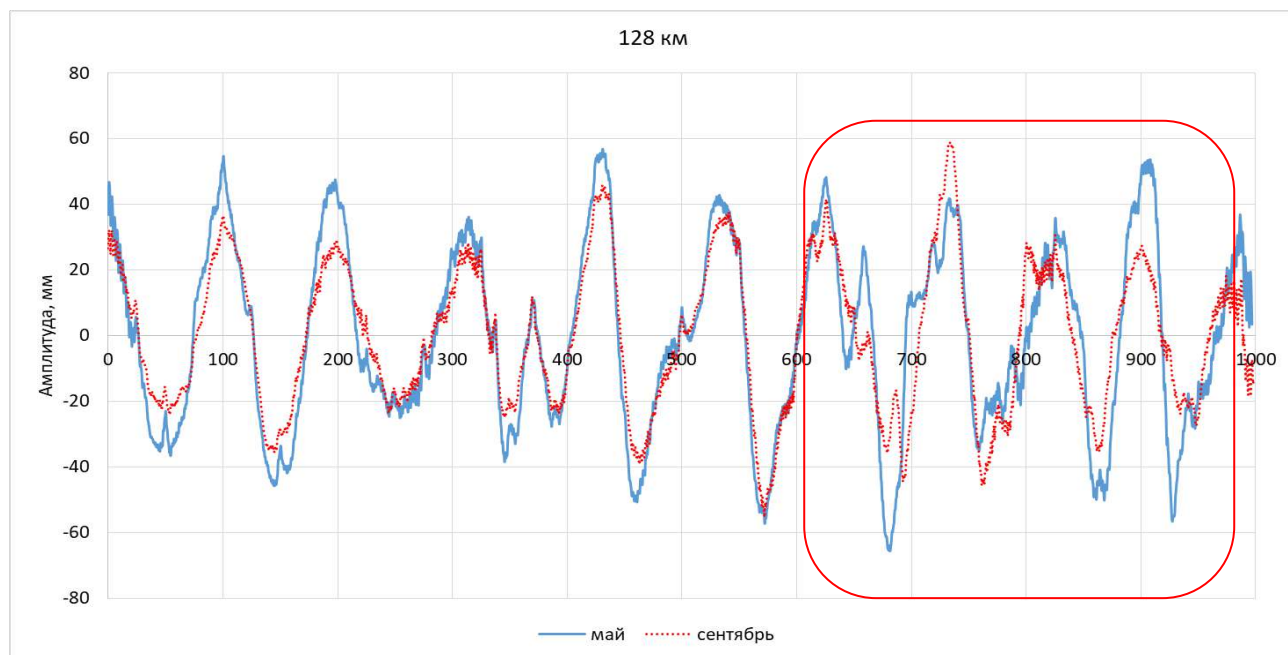


Рисунок 5.7 – Результаты работ по выправке профильных неровностей на 128 км участка Чум-Лабытнанги.

Работы по выправке профильных просядок допускается выполнять с применением ручных гидравлических домкратов и электрошпалоподбоек .

Работа по выправке профильной просядки с применением ручных гидравлических домкратов и электрошпалоподбоек выполняются в «окно».

Перед выполнением выправки на участок заранее завозится и выгружается щебень из ХДВ в необходимом объеме.

В день производства выправки на участок доставляется необходимое оборудование и инструмент. Работники пути подготавливают места для зарядки домкратов по обеим рельсовым нитям, через каждые 4-6 шпальных ящиков. Подбивка балласта под шпалы выполняется электрошпалоподбойками.

Выправка производится одновременно по обеим ниткам. Контроль положения пути по уровню контролируется путевым шаблоном, высота подъемки контролируется с помощью нивелира либо тахеометра. Контроль выполняется по ранее размеченными точками. После завершения подъемки в точке, производится уплотнение балласта при помощи ЭШП, после этого домкраты извлекаются и

переносятся на следующую точку. Процесс повторяется до достижения необходимого уровня подъёмки. Совместно с выправкой происходит процесс оправки балластной призмы.

Проведенная выправка является «грубой», в дальнейшем участок нуждается в чистовой выправке.

Чистовая выправка пути выполняется выправочной машиной по результатам съёмки параметров пути и сформированному программному заданию. Данная работа выполняется в «окно».

По окончании выправки производится стабилизация пути машиной ДСП (РПП). После стабилизации пути машина РПБ (РБ) производит перераспределение балласта с обочины земляного полотна и балластной призмы на концы шпал и внутрь колеи, производит чистовую отделку балластной призмы. По завершению работ путевые машины приводятся в транспортное положение и отправляются с перегона, согласно заявки руководителя работ. График производства работ по выправке профильной просадки с применением ЭШП представлен на рисунке 5.8.

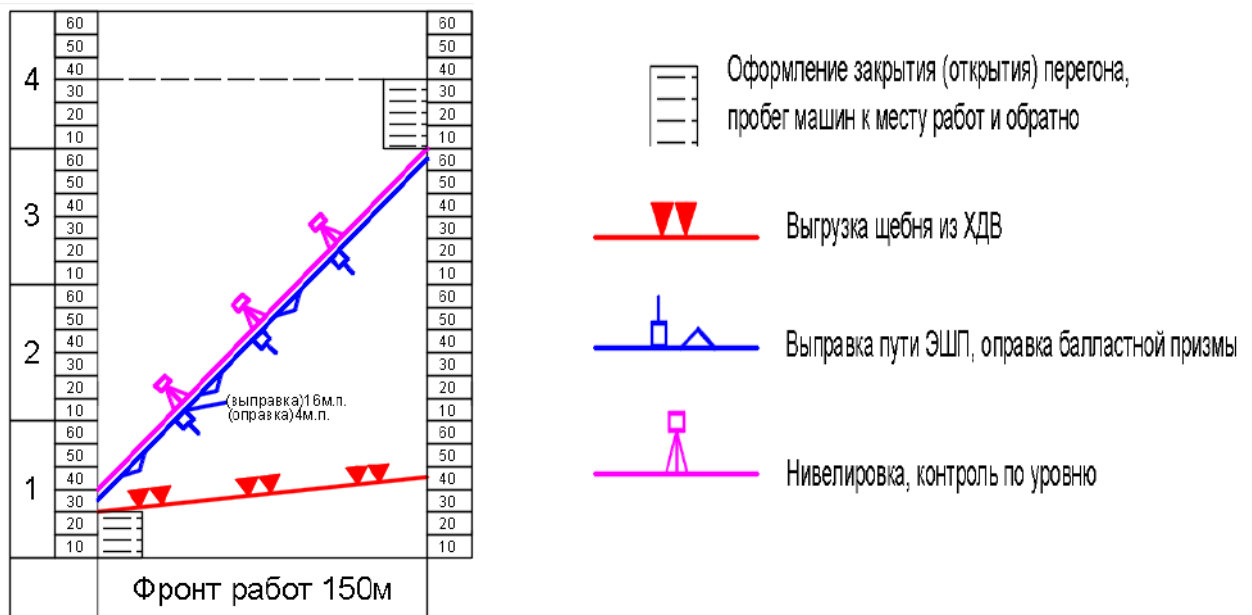


Рисунок 5.8 – График производства работ по выправке профильной просадки с применением ЭШП.

Устранение методом «срезки бугров»

На участках пути эксплуатируемых на слабом основании или на многолетнемёрзлых грунтах в отдельных случаях результаты деградационных процессов настолько значительны, что до проведения работ капитального характера наиболее экономически оправданным является выполнением работы по срезке «бугров».

Предварительно определяется участок и величина срезки, производится разметка места работы на пути.

Работы по срезке профильных бугров выполняются в «окно» продолжительностью не более 4-8 часов. На участках срезки бугров в день основных работ за час до «окна» устанавливается ограничение скорости 25км/ч и подготавливаются места для зарядки и разрядки машины глубокой отчистки. На перегон отправляется следующая техника: машина глубокой отчистки балласта (СЧ, РМ, ЩОМ различных модификаций), ХДВ, машина для выправки пути (ВПр, ВПрС или подобные) динамический стабилизатор ДСП, планировщик балласта ПБ (РПБ). Работа по срезке начинается с зарядки выгребного устройства. Набор и сброс глубины срезки производится плавно на протяжении 10-15 метров с выполнением прогрохотки и возвращением отчищенного щебня в путь. Далее машина переходит на режим полной вырезки балласта. Глубина максимального понижения отметок составляет 40-50 см . Далее производится отсыпка из хоппер-дозаторов с целью заполнения шпальных ящиков для обеспечения возможности выправки пути. Следом на фронт работ заезжает машина ВПр (ВПрС) и производит съемку состояния пути для формирования программного задания на выправку. Для обеспечения корректной выправки запись должна начинаться за пределами фронта работ по срезке. Далее по сформированному заданию выправочная машина производит выправку пути. При производстве данной работы контролируется состояние пути в плане и по уровню, а так же достаточность реализуемой выправки.

По окончании выправки производится стабилизация пути машиной ДСП (СПП). После стабилизации пути машина РПБ (РБ) производит перераспределение балласта с обочины земляного полотна и балластной призмы на концы шпал и внутрь колеи, производит чистовую отделку балластной призмы. По завершению работ путевые машины приводятся в транспортное положение и отправляются с перегона, согласно заявки руководителя работ. График производства работ по срезке профильного «бугра» машиной глубокой очистки представлен на рисунке 5.9.

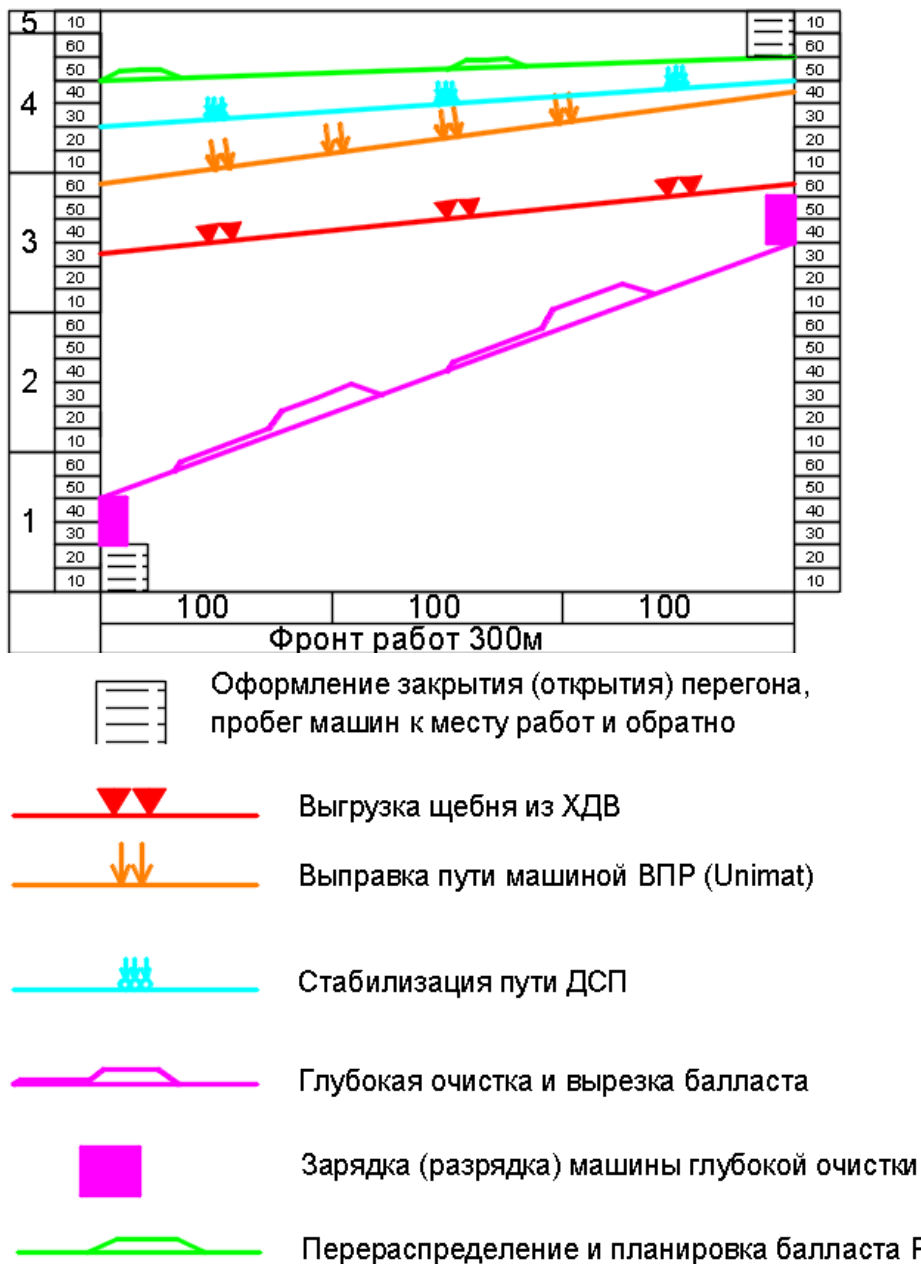


Рисунок 5.9 – График производства работ по срезке профильного «бугра» машиной глубокой очистки.

Результаты работ по «срезке бугров» проведённой 12 июля 2022 года показаны на рисунке 5.10.

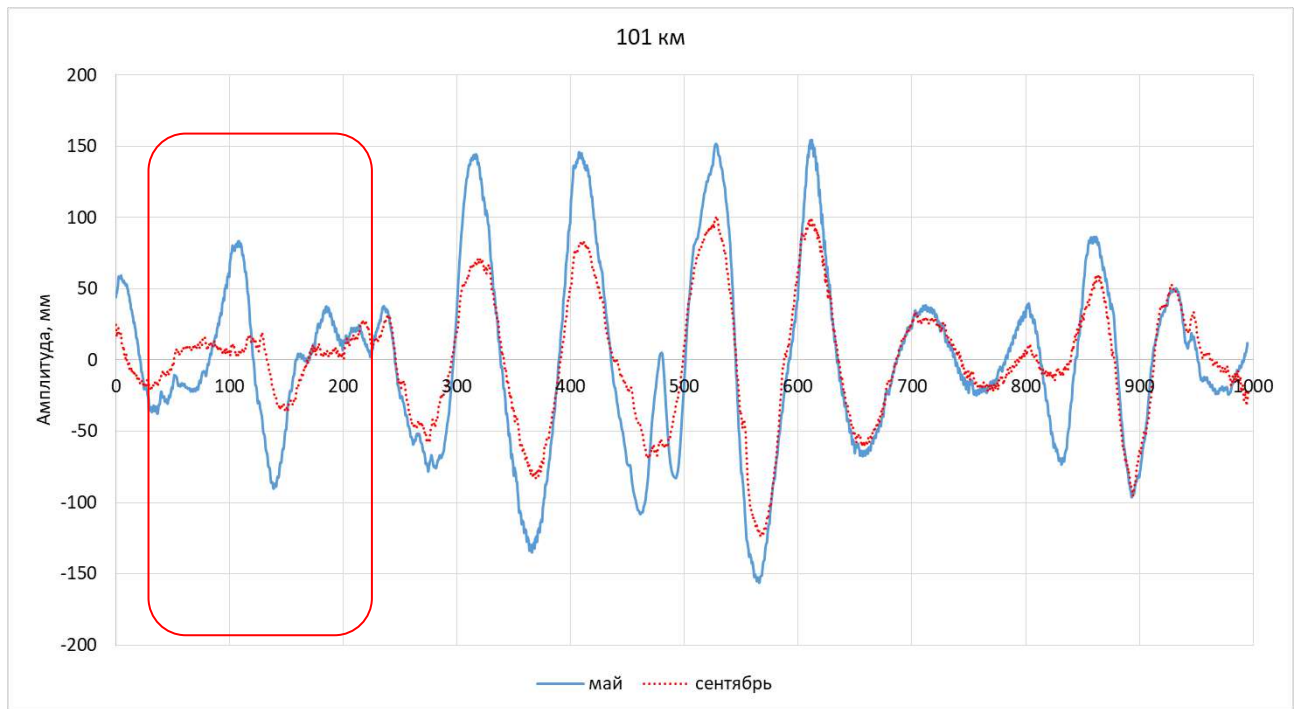


Рисунок 5.10 – Результаты работ по «срезке бугров» на 101 км участка Чум-Лабытнанги.

5.2 Современные технологии выправки длинных профильных неровностей

Описываемые в предыдущих разделах технологии выправки пути относятся к «классическим», используемым работниками путевого хозяйства многие десятилетия. Приход на сеть отечественных железных дорог в начале 2000-ых годов высокоточной и производительной техники как циклического, так и непрерывного действия позволил изменить применяемые технологии.

Развитие контрольно-измерительных систем выправочных машин способных фиксировать положение пути в плане и профиле, а также внедрение бортовых автоматизированных расчётных систем позволяют работать не только

по методу «сглаживания» или с предварительной записью положения пути, но и по проектным отметкам.

Работа по методу сглаживания производится без предварительного замера отклонений пути от проектного положения. Этот метод применяется на участках, где нет необходимости в точном положении пути. График производства работ представлен на рисунке 5.11.

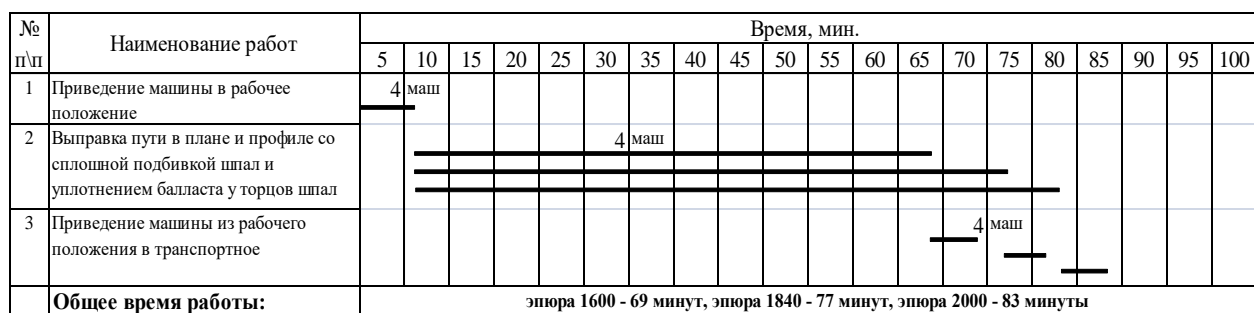


Рисунок 5.11 – График производства работ по выправке пути без измерительной поездки.

Работа по методу с предварительной записью состояния пути позволяет поставить путь в проектное положение с учётом возможных ограничений окружающей инфраструктуры. При этом обеспечивается автоматическая рихтовка и выправка неровностей пути в прямых и кривых участках одновременно с выполнением всех технологических операций машиной. График производства работ представлен на рисунке 5.12.

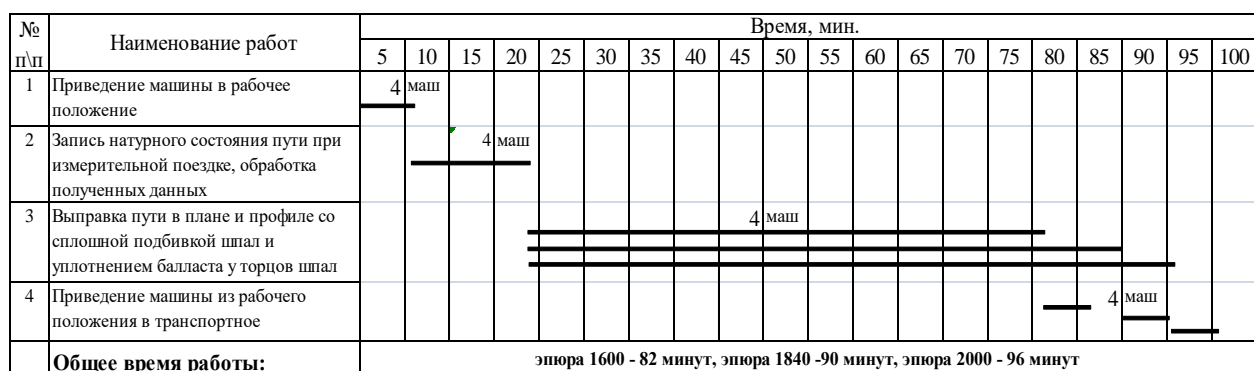


Рисунок 5.12 – График производства работ по выправке пути с измерительной поездкой

Наиболее точную постановку пути в проектное положение позволяет получить метод выправки с применением ВКС – высокоточной координатной

сети. На рисунке 5.13 представлены результаты выправки перегона Бушевец – Академическая Октябрьской железной дороги.

ВКС применяется для определения местоположения объектов ИЖТ и подвижного состава, а также событий, происходящих на инфраструктуре, в едином координатном пространстве при выполнении следующих задач:

- инженерных изысканий, проводимых при проектировании, строительстве, ремонте и реконструкции объектов железнодорожной инфраструктуры;
- строительно-монтажных и ремонтных работ с применением комплекса выправочно-подбивочно-отделочных и щебнеочистительных машин;
- высокоточных съемочных работ по определению фактических значений геометрических параметров объектов железнодорожной инфраструктуры;
- контроля и постановки объектов инфраструктуры в проектное положение:

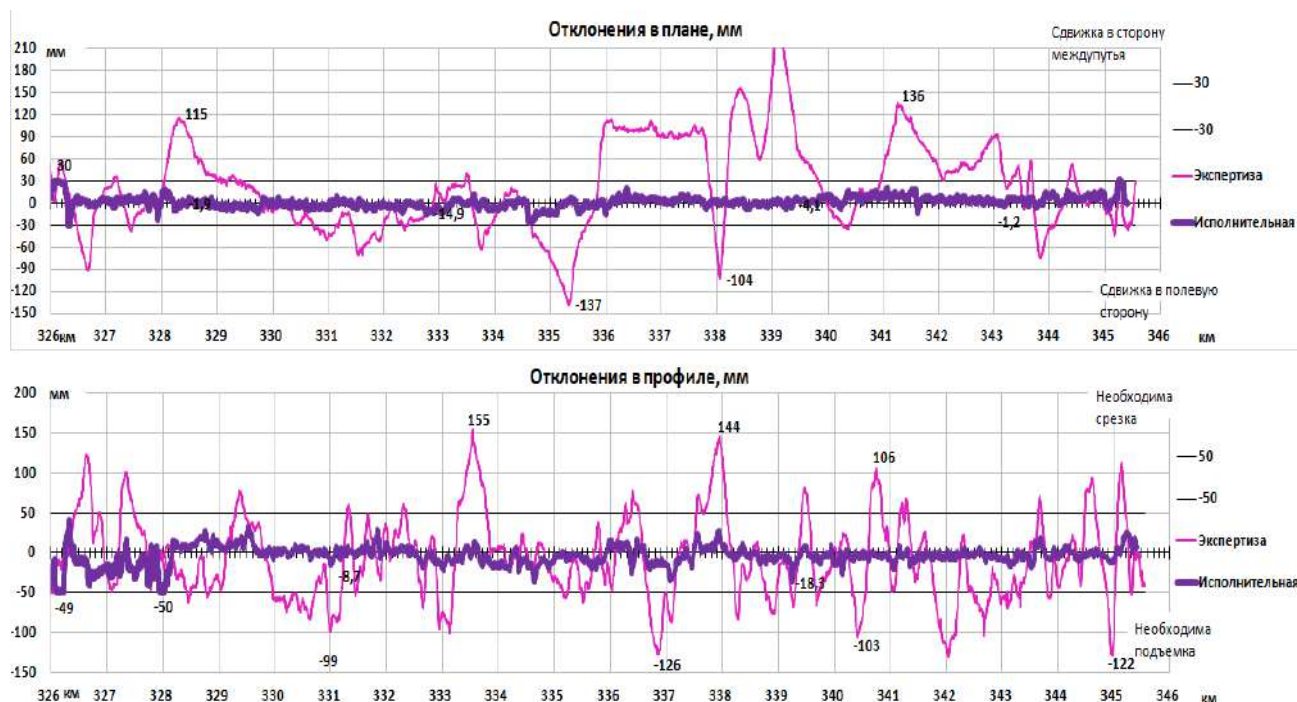


Рисунок 5.13 – Исполнительная съёмка измерительной тележкой Trimble участка Бушевец – Академическая Октябрьской железной дороги.

Для проведения работ по устранению длинной профильной неровности разрабатывается проект в соответствии с заданием на проектирование. В задании на проектирование «Заказчик» в лице дистанции пути (или службы пути) предоставляет «Исполнителю» работ параметры которым должен отвечать путь

после проведения работ.

«Исполнитель» в лице проектной или другой уполномоченной организации разрабатывают проектную документацию на выправку железнодорожного пути в виде ЦМП в координатном пространстве ВКС с использованием программного обеспечения, позволяющего выполнить документацию в объеме построения плана и профиля линии.

В составе проекта в соответствующих разделах приводятся следующие сведения:

- применяемая местная железнодорожная система координат ОАО "РЖД";
- порядок учета поправок за редуцирование при выносе проектов в натуру;
- использование имеющихся материалов мобильного лазерного сканирования;
- заданная технология производства работ и комплекс путевых машин, оснащенных системами, реализующими координатные методы.

В составе проектной документации проектными организациями дополнительно передаются «Заказчику» проект плана, профиля пути и элементов инфраструктуры, исполненный в ЦМП в формате LandXML.

Реализация координатного метода выправки пути с использованием ВКС заключается в определении отклонения положения пути от проектного и его постановка в проектное положение.

Для подготовки задания на выправку используется путеизмерительная тележка. Путеизмерительная тележка может использоваться в двух вариантах комплектации: с использованием спутникового оборудования и электронного тахеометра-робота.

Путеизмерительной тележкой, оборудованной спутниковым приемником или тахеометром-роботом, производится съемка существующего положения пути в режиме сравнения натурального положения пути с проектным. В результате съёмки определяются величины отклонений натурной оси пути от проектной с привязкой к линейным координатам, а также к абсолютным координатам в системе

координат ВКС.

На основании полученных величин отклонений формируется задание на выправку машины ВПО-С или ДУОМАТИК 09-32 CSM для постановки пути в проектное положение в плане и профиле. Выбор машины зависит от величины необходимых расчётных подъёмов пути.

Перед выправкой пути машиной ВПО-С оборудованной микропроцессорным управляющим устройством постановки пути в проектное положение координатным методом «Эскорт-3000 МС» или машиной ДУОМАТИК 09-32 CSM с измерительной системой VIN ALC, загружается задание на выправку пути в плане и профиле, сформированное на основе данных съёмки путеизмерительной тележки с использованием проекта оси пути в формате LandXML.

Выправка пути ВПО-С или ДУОМАТИК 09-32 CSM (постановка пути в проектное положение) выполняется в автоматизированном режиме, за счет перемещения пути в плане и профиле для его приближения к проектному положению. При необходимости постановка пути в проектное положение производится в несколько проходов с повторением подготовительных работ.

Кроме точности описанная выше технология позволяет оптимизировать время проведения работ и минимизировать влияние «человеческого фактора» при проведении подготовительных работ.

5.3 Система технического обслуживания пути при наличии сочетаний длинных и коротких профильных неровностей

Как указывалось во вступительной части данной главы, проведённые исследования позволяют сделать выводы о том, что:

- как правило, имеет место сочетание длинных и коротких неровностей (просадки, перекосы),
- существует зависимость количества коротких неровностей от протяженности профильной неровности и от грузонапряжённости пути,

- показатели коэффициента динамики при наличии длинных периодических неровностей не превышают уровень оценки «отлично», равно как и при наличии только коротких периодических неровностей второй степени,
- при наличии коротких неровностей (просадок) третьей степени, близкой к четвертой степени уровень оценки Кд находится в пределах оценки «хорошо»
- величина коэффициента динамики при сочетании длинных профильных неровностей и коротких неровностей в сочетании с силовым параметром от тягового подвижного состава независимо от плана пути превосходит уровень оценки «допустимый»,
- для обеспечения допустимого уровня "коэффициента динамики" гружёного вагона в соответствии с ГОСТ 33211-2014 [38] достаточно устранить только одну составляющую: или длинную неровность, или короткую.

Устранение длинных профильных неровностей, как рассмотрено выше, требует проведения работ в «окно», то есть в перерыве движения поездов с применением тяжёлых путевых машин. Устранение коротких неровностей (просадок, перекосов) проводится без закрытия участка пути для движения поездов, с использованием ручного и механизированного инструмента.

Исходя из методики планирования путевых работ [53] работы, проводимые с закрытием пути для движения поездов и применения тяжёлых путевых машин планируются на этапе годового и месячного планирования.

5.4 Выводы по главе

Для обеспечения допустимого уровня коэффициента динамики гружёного вагона и соответственно безопасности движения поездов необходимо внести изменения в п. 9.4.1 «Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов» [5] с определением порядка устранения коротких неровностей.

На участках движения тяжеловесных поездов в режиме рекуперативного

торможения и максимальной тяги:

– при наличии длинных неровностей с амплитудой более 25 мм в сочетании с периодически повторяющимися просадками 2 степени в количестве 3-х и более штук – **первоочередное** устранение просадок и плановое устранение длинных неровностей;

– при наличии длинных неровностей с амплитудой более 25 мм в сочетании с периодически повторяющимися просадками 3 степени и просадками 2 степени близкой к 3 степени в количестве 3-х и более штук- немедленное (в течении суток) устранение просадок и плановое проведение ремонтов для устранения длинных неровностей.

Глава 6. Расчёт экономического эффекта при выборе оптимальной технологии устранения сочетаний длинных и коротких профильных неровностей

Целью проводимых в этой главе расчётов является определение эффективности затрат при применении различных технологических процессов выправки длинных профильных неровностей и коротких неровностей (просадок). Оценка влияния выполнения вышеназванных работ на пропускную способность участков. Расчёт потерь для каждого класса железнодорожных линий [39] при выборе того или иного технологического процесса.

В предыдущей главе рассматривались различные технологические процессы устранения длинных профильных неровностей, как механизированным способом, так и с применением ручного инструмента. С учётом применения разных инструментов, различных по техническим характеристикам машин и механизмов требуется разное время на выполнение одной и той же работы. Так же при применении выправочной техники необходимо предоставление «окон» в графике движения поездов, продолжительность которых зависит от выбранной технологии, технических характеристик путевых машин, длины перегонов, количества путей на перегоне и ограждающих станций и ещё ряда менее существенных при данном рассмотрении факторов.

Выводы, сделанные по результатам расчётов проведенных в программном комплексе «Универсальный механизм» (содержащиеся в главе 4), говорят о том, что величина коэффициента динамики (КД) при сочетании длинных неровностей и коротких неровностей вкуче с силовым параметром и движением в кривой в ряде случаев превышает уровень оценки «допустимый». В то же время было отмечено, что в случае отсутствия сочетаний длинных профильных и коротких неровностей показатели коэффициента динамики [38] находится в пределах допустимых значений. Исходя из выводов, сделанных по результатам расчётов, следует, что для обеспечения допустимого уровня коэффициента динамики

достаточно устранить один и слагаемых факторов: длинную профильную неровность, короткую профильную неровность (просадку), 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. Область воздействия на результат «коэффициента динамики» определяется устранением длинной профильной неровности пути или короткой (просадки). Рассмотрим два варианта. Вариант №1- устранение коротких профильных неровностей (просадки, перекосов) и вариант №2- устранение длинных неровностей в профиле, с точки зрения стоимости выполнения работ и влияния на пропускную способность участка (условные потери от непроведённых по участку грузовых поездов исходя из утверждённых расходных ставок) [43].

Устранение коротких неровностей относятся к работам выполняемым при текущем содержании пути. Выполняются преимущественно с помощью ручного механизированного инструмента, без перерыва в движении поездов, то есть без «окон». Руководство в соответствии с таблицей 2.7 ЦП-2540 [41] осуществляется работником по должности не ниже бригадира пути. Трудозатраты и стоимость определяется в соответствии со сборником «Норм времени на работы по текущему содержанию пути. Часть 1. Работы по балласту и шпалам».[40].

Устранение длинных профильных неровностей может выполняться как в рамках «текущего содержания», так и при проведении работ по капитальному ремонту или модернизации пути. Работы выполняются с применением комплекса путевых машин в «окно», т. е. с перерывом в движении поездов. Руководство такими процессами осуществляет дорожный мастер [41]. Трудозатраты и стоимость рассчитываются по нормативам «Нормы времени на работы по ремонту верхнего строения пути...» [42].

Характеристика участка и исходные данные.

Двухпутный, электрофицированный участок пути. 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 метра, амплитуда - 70 мм.. Кроме того, на этой неровности имеются - 8 штук отступлений 2 степени (пр-14/4, пр-16/5, пр-13/4, пр-15/4, пр-17/5, пр-14/4, П-16/17, П-14/10).

Оценка затрат по варианту 1

Исходя из принятых условий, при расчёте учитываем выполнение работ без предоставления «окна» с применением ручного механизированного инструмента (домкраты, ЭШП-9, АБ-4 и т.д.) по устранению 2-ой степени, не трогая длинную профильную неровность.

Общая протяжённость неисправностей для определения объёма выправки составляет рассчитывается по формуле:

$$L = \sum_{n=1}^N l_n + 2 \quad (1)$$

где n- номер неисправности;

N- количество неисправностей;

$l_n + 2$ длина неисправности с отводами.

$L = 69$ м. или 138 концов шпал ($69 \text{ м} * 2000 \text{ шпал} / 1000 \text{ м} = 138 \text{ шпал}$)

Для оценки трудозатрат применяется технико-нормировочная карта ТНК-ТС 1.3. «Исправление просядок и перекосов пути при скреплении ЖБР-65, ЖБР-65Ш, ЖБР-65ПШ, ЖБР-65ПШМ, СМ-1, Фоссло, W-30 подбивкой шпал электрошпалоподбойками ЭШП-9» [40].

Для расчета дополнительного фонда оплаты труда монтеров пути применен процент вредности - 4%, процент премии средний – 55 %, зональная надбавка – 22%.

Затраты по фонду оплаты труда монтажников пути и бригадиров пути, задействованных при производстве работ определены в таблицах 6.1 и 6.2 (приложение 1).

Всего затраты по фонду оплаты труда составили 10 047,34 рублей.

Отчисления на социальные нужды рассчитаны в соответствии с тарифами страховых взносов в государственные внебюджетные фонды (Федеральный закон от 03.12.2011 №379-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам установления тарифов страховых взносов в государственные внебюджетные фонды» в редакции ФЗ от 02.04.2014 №59-ФЗ, от 03.07.2016 №250-ФЗ и составляют 30,4%.

$10047,34 \text{ рублей} \times 30,4\% = 3054,39 \text{ рублей}$.

Материальные затраты на топливо рассчитаны в соответствии с нормами расхода (согласно паспорта изделия и инструкции по эксплуатации на электроагрегат путевой бензиновый АБ-4 (таблица 6.3 приложение 1).

С учетом накладных затрат (для расчета накладные расходы приняты - 140%, средний процент по сети дорог РФ служб пути дирекций инфраструктуры).

Сумма накладных затрат составила

$10047,34 \text{ рублей} \times 140\% = 14066,28 \text{ рубля}$.

Итого затраты по варианту №1 – 30361,78 рублей.
(ФОТ + отчисления на социальные нужды + накладные затраты + топливо).

Оценка затрат по варианту 2

Производство работ по устранению профильной неровности с размерами (длина-92 м, амплитуда-70 мм.) осуществляется комплексом путевых машин в составе: «Дуоматик 09-32», хоппер-дозаторный вагон, планировщик балласта (ПБ), Динамический стабилизатор пути (ДСП). Работы производятся с перерывом в движении поездов, в «окно».

Объём щебня при производстве работ для устранения неровности определим по формуле (5.1)

$$V = \frac{1}{2} L (S_{\text{проект}} - S_{\text{сущ}}) \times 1,25 \quad (5.1)$$

Учитывая небольшую величину подъёмки – 0,07 м формула примет вид

$$V = \frac{1}{2} L \times h(1,5h + A) \times 1,25$$

где А- ширина верха балластной призмы.

$$V = \frac{1}{2} \times 92 \times 0,07 \times (1,5 \times 0,07 + 3,5) \times 1,25 = 14,51 \text{ м.куб.}$$

Стоимость такого объёма щебня с НДС составляет – 22680 рублей.

Для определения необходимой продолжительности «окна» проведены расчёты в соответствии с технологическим процессом «Планово предупредительная выправка пути с применением машины Дуоматик 09-32 CSM» [44]. Протяжённость фронта работ равняется длине профильной неровности плюс отводы по 20 метров. Итого – 132 метра. Результаты представлены в таблице 6.4 (приложение 1) и продолжительность «окна» составляет - 105,5 мин.

Расчёты трудозатрат и фонда оплаты труда монтеров пути на 1 км пути проведены в соответствии с Нормами времени на работы по ремонту верхнего строения пути утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» от 14.04.2021 г. №789/р [42] и представлены в таблице 6.5 и 6.6 (приложение 1).

Для расчета фонда оплаты труда монтеров пути применены средние проценты премии – 55 % , вредности – 7%, районной надбавки – 4%, прочие начисления – 5 %.

ФОТ монтеров пути с учетом всех дополнительных выплат составит 99,78 рублей.

Оценка трудозатрат и фонда оплаты труда машинистов путевых машин на 1 км пути приведена в таблице 6.6 (приложение 1).

ФОТ машинистов для производства работ по устранению профильной неровности протяжённостью 132 метра пути, с учётом отчислений на социальные нужды составит $943,49 \times 30,6 \% = 1232,2$ рубля.

Сумма амортизационных отчислений определяется по первоначальной стоимости основных фондов с учетом ввода и выбытия в планируемом периоде и нормам амортизационных отчислений с учетом срока полезного использования. [45] В таблице 6.7 (приложение 1) приведён расчёт амортизации на 1 км пути согласно данных о затратах ДПМ, ДРП исходя из состава комплекса машин.

Сумма затрат на амортизацию при производстве работ на объем по устранению профильной неровности протяжением 132 метра составит $30\,679,53 \times 0,132 = 4049,7$ рублей.

Расчет «прочих материальных затрат» на 1 км пути приведен в таблице 6.8 (приложение 1) согласно данных о затратах ДПМ, ДРП исходя из состава комплекса машин. К ним относятся затраты на проведение технического обслуживания и ремонт основных средств, выполняемый подрядным способом.

Соответственно «прочие материальные затраты» на заданный объем работы по устранению длинной профильной неровности (132 м.) составят: $50\,516,76$ рублей $\times 0,132 = 6668,21$ рубль.

Затраты на топливо для работы машин, задействованных на выполнении работ, определяются исходя из их количества, мощности, времени работы и норм расхода топлива [46] на единицу мощности и цены на топливо. Расчет стоимости топлива (1 км пути) приведен в таблице 6.9 (приложение 1).

Материальные затраты на Топливо на заданный объем работы по устранению профильной неровности составят:

$$42\,485,10 \text{ рублей} \times 0,132 = 5608,03 \text{ рублей.}$$

С учетом накладных затрат (для расчета принят процент накладных расходов равный 162,4%) суммарные затраты по 2 варианту с учётом ФОТ, отчислений на социальные нужды, накладных затраты, топлива, амортизации, прочих материальных затрат и материалов составят – 42496,83 рублей

6.1 Анализ стоимости Вариант 1 и Вариант 2

Как следует из проведённых расчётов Вариант №2 дороже Варианта №1 на 12135,05 рублей.

Одновременно с этим, при реализации Варианта 2 оценочные уровни затрат по потерям в рублях из-за не провезенных грузов для различных классов железнодорожных линий [47], приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Исходные параметры.

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Значения
1	1 поезд-час простоя в грузовом движении	тыс. рублей	7, 771
2	час простоя локомотива	тыс. рублей	2,737
3	продолжительность «окна»	минут	105,5
4	ж/д линия 1 класса (Г-80 млн.т.)	груз.поез./сут.	54
5	ж/д линия 2 класса (Г-40 млн.т.)	груз.поез./сут.	27
6	ж/д линия 3 класса (Г-20 млн.т.)	груз.поез./сут.	13
7	ж/д линия 4 класса (Г-10 млн.т.)	груз.поез./сут.	7
8	ж/д линия 5 класса (Г-5 млн.т.)	груз.поез./сут.	4

Исходя из принятых параметров железнодорожных линий, учитывая средний вес поезда по данным за 2022 год (4064 тонн) и утверждённых расходных ставок [39] по формуле (2) рассчитаны и приведены в таблице 6.11 результаты потерь из-за не провезенных грузовых поездов.

$$З = \frac{N}{24} \times t(C_{п} + C_{л}) \quad (2)$$

где N – графиковое количество грузовых поездов в сутки,

t – продолжительность «окна»,

$C_{п}$ – расходная ставка поезд-часа в грузовом движении (электровоз),

$C_{л}$ - расходная ставка локомотива с бригадой в грузовом движении.

Таблица 6.11 – 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 %.

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 %.

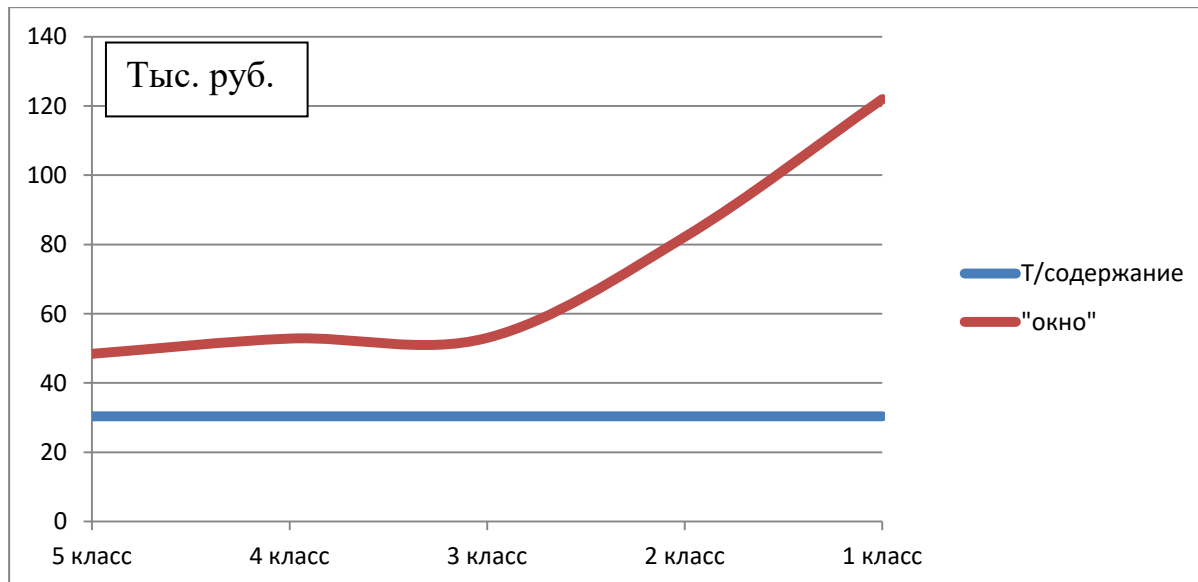


Рисунок 6.1 – Сравнение затрат по двум вариантам.

Это позволяет сделать вывод об экономической эффективности устранения коротких неисправностей.

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Нормы оценки по показаниям путеизмерительных вагонов. Текст: Утв. 14/Х 1959 г. Главное управление пути и сооружений МПС. – Москва: Трансжелдориздат. –1960.

2 Технические указания по расшифровке записей путеизмерительных вагонов, оценке отступлений от норм содержания рельсовой колеи железнодорожного пути, мерам по обеспечению безопасности движения поездов при их обозначении (в отмену Техническим указаниям по расшифровке записей и оценке состояния пути по показаниям путеизмерительных вагонов, утвержденных 30.10.75 г.) [М.]: Б. и. – 1981.

3 Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов. ЦП-515. (с дополнениями и изменениями): ЦП МПС . –1997.

4 Технические указания по определению и использованию характеристик устройства и состояния пути, получаемых вагонами-путеобследовательскими станциями системы ЦНИИ-4. ЦПТ-55/22. – М. – 2000.

5 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».

6 Инструкция по эксплуатации объектов инфраструктуры, железнодорожного подвижного состава и организации движения на участках обращения скоростных и высокоскоростных пассажирских поездов со скоростью от 140 до 250 км/ч включительно. Приложение № 9 «Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации».

7 Приказ МПС России № 41 от 12 ноября 2001 г. «Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта». – С.122-124.

8 Распоряжение ОАО «РЖД» от 08.11.2016 № 2240р (с изменениями от 23.08.2018) «О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм».

9 **Шапетько, К. В.** Влияние неровностей продольного профиля на деформативность пути, безопасность движения и расход энергии на тягу поездов диссертация кандидата технических наук: 2.9.2 / К. В. Шапетько // Российский университет транспорта. – Москва. – 2022. – С. 185.

10 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 2: Measuring systems - Track recording vehicles; German version EN 13848-2:2006

11 Певзнер, В. О. и др. Совершенствование нормативных документов по оценке состояния пути при скоростном движении/ В.О. Певзнер //Путь и путевое хозяйство. – 2014. – №. 12. – С. 2-6.

12 Ведомости конференции. Железнодорожный транспорт России: вызовы до 2025 года / ИПЕМ // 04.2019. – 48 с.

13 **Сергеев, Б. Н.** Пересмотр действующих правил расчета пути // Пересмотр путевых расчётов: сб. // Центральный институт научных исследований и реконструкции железнодорожного пути НКПС. Вып.11. – М.: ОГИЗ – Гострансиздат, 1931. – С.133-185.

14 **Сидорова, Е. А.** Возникновение остаточных деформаций земляного полотна и их влияние на безопасность движения / Е. А. Сидорова, В. О. Певзнер, И. М. Анисина // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2021. № 5–6. С. 43–50.

15 **Соловьёв, В. П.** Модель деформируемости грунтового основания железнодорожного пути при пропуске длинносоставных поездов /В. П. Соловьёв, А. В. Анисин, И. М Анисина, С. С. Надёжин, М.М. Железнов, В. О. Певзнер, И.В. Третьяков // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. – 2019. – № 3. – С. 84-89.

16 **Кистанов, А. И.** Особенности работы железнодорожного земляного полотна в условиях повышенной интенсивности движения поездов/ А. И.

Кистанов //Труды Уральского электромеханического института инженеров железнодорожного транспорта. – 1977. – №. 56. – С. 36. С.36-40.

17 **Певзнер, В. О.** и др. Совершенствование нормативных документов по оценке состояния пути при скоростном движении/ В. О. Певзнер //Путь и путевое хозяйство. – 2014. – №. 12. – С. 2-6.

18 **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. Сластенин, Вестник ВНИИЖТ. – 2020. – Т. 79. – № 5. – С.271-275.

19 **Певзнер, В. О.** Необходимые дополнения к системе оценки геометрии рельсовой колеи / В. О. Певзнер, В. В.Третьяков, И. В. Третьяков, К. В. Шапетько, А. С. Томиленко// Вопросы развития железнодорожного транспорта : сборник трудов ученых АО «ВНИИЖТ» / под ред. М.М. Железнова, Г.В. Гогричани. – М.: РАС, 2017. – С.199-202.

20 **Жуковский, Н. Е.** Сила тяги, время в пути и разрывающие усилия в тяговом приборе и сцепке при ломаном (резко переменном) профиле / Н.Е. Жуковский // Полное собрание сочинений. – 1937. – Т. 8. – С. 256- 268.

21 **Вершинский, С. В.** Динамика вагона./ С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков // Учебник для вузов ж.-д. транспорта. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Транспорт», 1978. – С.352 с.

22 **Блохин, Е. П.** Динамика поезда (нестационарные продольные колебания) / Е. П. Блохин, Л. А. Манашкин //. – М.: «Транспорт», 1982. – С. 222.

23 **Максимов, В. Н.** Силы, действующие на вагон на сортировочных горках / В. Н. Максимов // Вестник ВНИИЖТ. 1963. № 4. – С. 36-40.

24. **Вершинский, С. В.** Динамика вагона / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов //под ред. С.В. Вершинского. – М.: Транспорт, 1991. –С. 360.

25 **Яновский, А. С.** На 126-м заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» / А.С. Яновский // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 7. – С. 33-34.

26 Распоряжение ОАО «РЖД» от 0.10.2019 №2191/р « Об утверждении методики дополнительного мониторинга состояния пути по параметрам длинных неровностей продольного профиля».

27 Технические указания по определению и использованию характеристик устройства и состояния пути, получаемых вагонами путеобследовательскими станциями ЦНИИ-4. ЦПТ-46/15 - 01.11.2001г.

28 Инфраструктура железнодорожного транспорта

Общие требования СП 237.1326000.2015 . Москва.

29 Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов / ред. ориг. изд. : Уолт Кестер// ; пер. с англ. под ред. А.А. Власенко. - Москва: Техносфера, 2010. – С. 326.

30 Лукин, А. Введение в цифровую обработку сигналов (математические основы)/ А. Лукин // Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа. МГУ.. 2002.

31 Pevzner, V., Shapetko, K., Slastenin, A. (2021) Needed Additions to the Diagnostic System of High-Speed Lines./ V. Pevzner, K. Shapetko, A. Slastenin // In: Murgul, V., Pukhkal, V. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. EMMFT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1258. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5>. –С. 43.

32 СНиП II-Д.1-62 «Железные дороги колеи 1524 мм общей сети. Нормы проектирования»

33 СНиП II-39-76 «Железные дороги колеи 1520 мм»

34 СТН Ц-01-95 «Железные дороги колеи 1520 мм» и СП 237.1326000.2015 «Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования»

35 СП 119.13330.2017 «Железные дороги колеи 1520 мм» от 13.06.2018

36 ЦП-2288 «Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути» от 14.11.2016.

37 ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности.

38 ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам.

39 Распоряжение ОАО "РЖД" от 23.12.2015 N 3048р "Об утверждении Методики классификации и специализации железнодорожных линий ОАО "РЖД".

40 Распоряжение ОАО «РЖД» от 22.12.2017 № 2707/р «Об утверждении Норм времени на работы по текущему содержанию пути. Часть 1. Работы по балласту и шпалам».

41 Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.12.2016г. №2540 «Об утверждении и введении в действие Инструкции по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ».

42 Нормы времени на работы по ремонту верхнего строения пути утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 14.04.2021 г. №789/р «Об утверждении норм времени на работы по ремонту верхнего строения пути.

43 Распоряжение ОАО «РЖД» от 05.03.2022 г. №550/р «Об утверждении расходных ставок , оценочных уровней затрат на отмену, срыв, передержку «окон» и экономической оценки устранения отказов технических средств».

44 Технологический процесс «Планово предупредительная выправка пути с применением машины Дуоматик 09-32 CSM», ПКБ И, Москва, 2020г.

45 Постановление Правительства РФ от 01.01.2022 №1 «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы».

46 Распоряжение ОАО «РЖД» от 28.12.2007 г. №2464р «О методике планирования расхода топлива для специального подвижного состава в ОАО «РЖД».

47 Распоряжение ОАО «РЖД» «Об утверждении расходных ставок, оценочных уровней затрат на отмену, срыв, передержку «окон» и экономической оценки устранения отказов технических средств» №550/р от 05.03.2022 г.

48 Гост 3475-81. Устройство автосцепное подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм.

49 Распоряжение ОАО "РЖД" от 14.12.2009 N 2536р (редакции от 20.01.2012) "О комплексной оценке состояния пути" на основе данных средств диагностики и генеральных осмотров пути.

50 Карта технологического процесса № к890ц-17 «Выправка железнодорожного пути машиной выправочно-подбивочно-рихтовочной ВПР». Центральная дирекция по ремонту пути – филиал ОАО «РЖД». 2017.

51 «Стандартная операционная карта. Подъёмка и выправка пути с подбивкой шпал машиной ВПО» № кх 923ц17. Центральная дирекция по ремонту пути – филиал ОАО «РЖД». 2017.

52 «Планово-предупредительная выправка пути с применением машины дуоматик 09-32 CSM» т.п.№60002521. Центральная дирекция инфраструктуры – филиал ОАО «РЖД». 2020.

53 Распоряжение ОАО "РЖД" от 25 февраля 2019 г. N 348/р "Об утверждении инструкции о порядке планирования, разработки, предоставления и использования технологических "окон" для ремонтных и строительно-монтажных работ в ОАО "РЖД". В редакции распоряжения ОАО "РЖД" от 14.12.2020 №2735/р.

54 **Чечельницкий, А. И.** Оценка состояния путевой инфраструктуры и основные направления её совершенствования./ А. И. Чечельницкий // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 5. – С. 4-5.

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

56 **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.

57 **Чечельницкий, А. И.** Технологии устранения длинных профильных просядок / А. И. Чечельницкий // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 3. – С. 2-8.

58 **Певзнер, В. О.** Организация технического обслуживания пути на особогрузонапряжённых 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.

59 **Сидорова, Е. А.** Показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям с учётом действия продольных сил / Е. А. Сидорова, В. О. Певзнер, А. И. Чечельницкий // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2021. Т. 80. № 6. – С. 359-365.

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

61 **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.

Таблица 6.2 – Расчёт затрат по фонду оплаты труда бригадиров пути.

п/п	Показатели	Рабочие		Трудозатраты, чел. час.	Сумма, руб.
		Разряд работ	Тариф руб.		
	Бригадир пути				
	тариф/оклад	7	167,9	8,00	1 343,20
	премия -60 %				805,92
	Зональные- 23%				308,94
	Итого бригадир пути				2 458,06

Таблица 6.3 – Расчёт топлива на АБ-4.

Оборудование	Ед. изм.	Объем работ	Норма расхода, л/час	Расход бензина, л	Цена за литр	Сумма, руб.
АБ-4	час	31	2,5	78	41,21	3 193,78

Таблица 6.4 – Расчёт продолжительности закрытия движения.

Содержание работы	Единица Единица измерения	объем работ	Норма оперативного времени на измеритель		Затраты труда, чел-мин			Количество чел.	Продолжительность	№ НВ
			чел- мин	маш- мин	на объем	С коэф				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Закрытие перегона, снятие напряжения с к/сети. Прибытие к месту работ.								30		
Выгрузка балласта их ХДВ	м ³	14,5	0,2	0,06	3	3,75	4	4	603р № 3.82	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Приведение машины Дуоматик в рабочее положение	приведение	1	13,14	4,38	13,14	16,4	2	3	5	603р № 3.35
Измерительная поездка, обработка данных	м пути	132	0,03	0,010	3,96	4,95	3	1,65		
Выправка пути в плане и профиле со сплошной подбивкой шпал	м пути	132	0,16	0,055	21,12	26,4	3	8,8		
Приведение машины Дуоматик в транспортное положение	приведение	1	17,52	4,38	18	22	4	5		
Приведение машины ДСП в рабочее положение	приведение	1	6,14	3,07	6,14	7,68	2	4		603р № 3.37
Стабилизация балластной призмы машиной ДСП	км	0,13	78,4	39,2	10,19	12,7	4	2	6,37	
Приведение машины ДСП в транспортное положение	приведение	1	6,14	3,07	6	7,68	2	4		
Приведение машины ПБ в рабочее положение	приведение	1	12	6,0	12	15	2	8		603р № 3.40
Планировка балласта планировщиком машиной ПБ	км	0,13	70	35	9	11,3	7	2	5,68	
Приведение машины ПБ в транспортное положение	приведение	1	12	6,0	12	15	2	8		
Прибытие на станцию, подача напряжения в КС. Открытие перегона.								15		
Итого:								105,5		

Таблица 6.6 – Расчёт трудозатрат машинистов путевых машин.

№ п.п.	Номер карты	Наименование работ	Измеритель	Количество	Нормированное время		Коэффициент на пропуск поездов (для работ на перегоне)	Разряд рабочих	Тариф	
					на единицу, норма - час	на объем норма. - час,			на единицу, руб.	всего
1	ТНК-10	Равномерное распределение балласта внутри колеи и по концам шпал после прохода хоппер-дозаторов машиной ПБ (8р-1ч, 7р-1ч)	1км пути	0,132	1,978	1,98	1,1	7	167,89	48,22
								8	180,65	51,88
2	ТНК-10	Выправка пути сплошной подбивкой шпал машиной "Дуоматик" (10р-3ч, 9р-1ч)	100 м пути	1,32	1,272	12,72	1,1	7	167,89	310,08
								8	180,65	333,65
3	НВ-16	Стабилизация слоя щебеночного балласта машиной ДСП в комплексе машин.(8р-1ч, 7р-1ч)	1 км пути	0,132	1,968	1,968	1,1	7	167,89	48,22
								8	180,65	51,88
4	ТНК-10	Планировка междупутья машиной ПБ (8р-1ч, 7р-1ч)	1км пути	0,132	1,978	1,98	1,1	7	167,89	48,22
								8	180,65	51,88
									всего	943,49

Таблице 6.7 – Расшифровка затрат на амортизацию (1 км пути).

Наименование техники	Наименование работ	Итого работа машин, м-ч	Амортизация, 1 м-ч, руб.	Итого амортизация, руб.
ПБ	Равномерное распределение балласта внутри колеи и по концам шпал после прохода хоппер-дозаторов машиной ПБ	8,89	1112,19	9887,37
ДУОМАТ 09-32 GSM	Выправка пути сплошной подбивкой шпал машиной "Дуоматик"	9,46	2062,87	19514,75
ДСП	Стабилизация слоя щебеночного балласта машиной ДСП в комплексе машин.	8,918	143,24	1277,41
ИТОГО:			30 679,53	

Таблица 6.8. – Расчёт «прочих материальных затрат» на 1 км пути.

№ п/п	Наименование техники	Наименование работ	Итого работа машин, м-ч	Материальные затраты 1 м-ч согласно справке ДПМ, ДРП, руб.	Итого материальные затраты, руб.
1	Планировщик Балласта	Равномерное распределение балласта внутри колеи и по концам шпал после прохода хоппер-дозаторов машиной ПБ	8,89	1640,65	14585,38
2	ДУОМАТ 09-32 GSM	Выправка пути сплошной подбивкой шпал машиной "Дуоматик"	9,46	152,317	1440,92
3	ДСП	Стабилизация слоя щебеночного балласта машиной ДСП в комплексе машин.	7,918	4355,956	34490,46
ИТОГО:					50 516,76

Таблица к ЗАКЛЮЧЕНИЮ.

Таблица 7.1 – Изменения в «Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов», утверждённую распоряжением ОАО «РЖД» от 28.02.2020 N 436/р. ...»

Параметры неровностей	Порядок устранения
на участках движения тяжеловесных поездов при отсутствии рекуперативного торможения и максимальной тяги	
при наличии длинных неровностей с амплитудой более 25 мм в том числе при наличии одиночных просядок 2 и 3 степени	Порядок устранения просядок определяется Приложением 4 настоящей Инструкции. [5]
на участках движения тяжеловесных поездов в режиме рекуперативного торможения и максимальной тяги	
при наличии длинных неровностей с амплитудой более 25 мм в сочетании с периодически повторяющимися просядками 2 степени в количестве 3-х и более штук	первоочередное устранение просядок и плановое устранение длинных неровностей
при наличии длинных неровностей с амплитудой более 25 мм в сочетании с периодически повторяющимися просядками 3 степени и просядками 2 степени близкой к 3 степени в количестве 3-х и более шт.	немедленное (в течении суток) устранение просядок и плановое проведение ремонтов для устранения длинных неровностей.